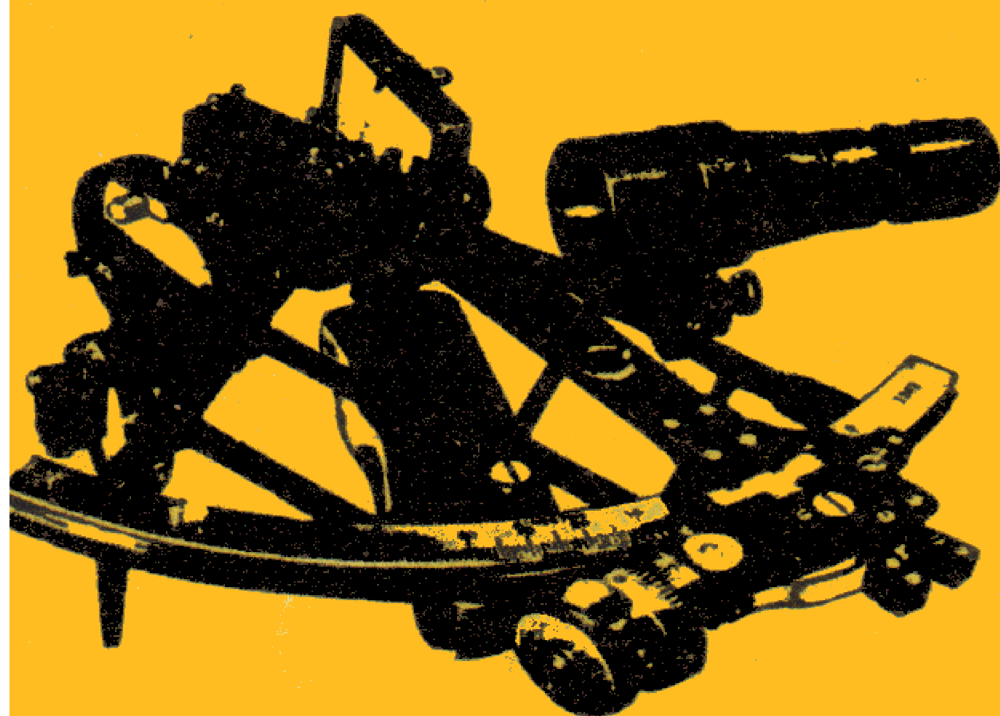
GH. I. BALABAN

TRATAT DE NAVIGAȚIE MARITIMĂ



LEDA

Gh. I. Balaban

TRATAT DE NAVIGAȚIE MARITIMĂ

EDIȚIA A III-A

LEDA
CONSTANȚA 1996

CONTENTS

PART IV
Astronomical navigation

PART V

Determination of compass corection

PART VI

Electronic navigation

PART VII

Tides and tidal streams. Ocean passages

PREFAȚĂ LA PRIMA EDIȚIE

În această lucrare mi-am propus să actualizez conținutul bazelor teoretice și aplicative ale științei navigației maritime, ținând seama de progresele imense realizate în acest domeniu pe plan mondial în ultimile decenii, precum și de faptul că flota noastră își desfășoară în prezent activitatea fără limite în zonele navigabile ale mărilor și oceanelor lumii.

Ca să răspund acestui scop și în intenția concentrării tratatului într-un singur volum, m-am străduit să mențin în vedere următoarele idei călăuzitoare:

– dezvoltarea bazelor teoretice ale sistemului de navigație folosite la bordul navelor moderne în limitele necesare înțelegerii fenomenelor, astfel ca să se poată asigura premisele unei aplicări autorizate și eficiente în practica navigației;

– bazele aplicative să țină seama de documentația de navigație utilizată la bordul navelor noastre maritime de cursă lungă, iar modul de folosire a acesteia să fie concretizat prin exemple rezolvate;

– sistemele de navigație inerțială și cu sateliți artificiali ai Pământului, neintroduse încă la bordul navelor noastre comerciale și care nu prezintă perspective de aplicare în viitorul apropiat, să fie tratate la nivel de principii, cu caracter informativ;

– eliminarea a ceea ce este perimat și cultivarea interesului pentru tot ce este nou și eficient.

Acestea au fost direcțiile principale asupra cărora autorul și-a concentrat atenția în timpul elaborării lucrării și cititorii vor fi aceia care vor aprecia în ce măsură și-a îndeplinit misiunea. Orice sugestie menită să contribuie la îmbunătățirea conținu-tului cărții de față este așteptată cu interes.

Înainte de a încheia, aș dori să-mi exprim recunoștința față de toți cei care m-au sprijinit în realizarea acestei lucrări. Țin să adresez întreaga întreag mea gratitudine: feciorului meu Gheorghiță Balaban, student al Facultății de Electronică din București, cu care am avut discuții de o reală valoare la întocmirea tratatului; lector univ. A. Tudorică, pentru efectuarea controlului științific și schimbul util de vederi; doamnelor P. Vlad și A. Irimescu, pentru grija cu care au realizat dactilografierea manuscrisului; bunilor mei colegi de muncă de la Registrul Naval Român, în mijlocul cărora am găsit atmosfera atât de favorabilă efortului ce aveam de întreprins.

În sfârșit, exprim întreaga mea recunoștință editorilor, pentru interesul manifestat în realizarea acestei lucrări, interes izvorât din convingerea că în condițiile actuale, cât și de perspectivă ale țării noastre „navigare necesse est" și că succesul acestei activități impune înfăptuirea unei literaturi de specialitate.

Acum, la terminarea lucrării, la capătul unei perioade de peste trei ani de muncă susținută, animat de pasiunea pe care am simțit-o întotdeauna pentru știința naviga-ției, de când am coborât de la munte ca să devin om al mării, mă preocupă un sin-gur gând: cartea să fie utilă celor de pe mare, studenților care se pregătesc pentru această minunată și bărbătească meserie, tinerilor ofițeri maritimi și tuturor celor ce doresc să se informeze din domeniul navigației maritime.

AUTORUL

1976

AUTHOR'S NOTE
for English-speaking readers

The knowledge of maritime navigation, the science of finding the position of a ship at sea and conducting her safely from one place to another on the Earth's surface, has grown tremendously since 1940. This growth has been characterised by radical changes in the basic concept of this science.

The expansion of shipping in the last few decades, as well as the growin of ship's size, demanded a new approach to navigation. The constant increase in general technology, especially in electronics, automation and precision engineering, has made it possible. Hastened by the requirements of the Second World War, radar and other electronic positioning systems have been developed, which have since progressed to provide not only safe aids to navigation but means of improving the economics of the sea transport and the ocean fishing industry. Today's requirements in the Oceanographic field and the vital development of the World's underwater resources rely heavily on the accuracy and reliability of the modern navigation systems.

In the same period, many of the conventional aids to navigation have been modernised. The majority of merchant ships are provided nowadays with these modern aids to navigation, which have already proved of inestimable value for safety at sea and operational efficiency.

However, there is no doubt that the other conventional methods used by mariners for so many years have not in the least lost their importance. Therefore, the navigation of a ship is to be based on a resonable selection of methods, according to the existing conditions at sea and the peculiarities of the ship.

In this book, TREATISE OF MARITIME NAVIGATION, whose contens reflect the facts and ideas shown above, I have tried to present the theory and practice of navigation systems in use on board modern merchant ships. In order to concentrate this knowledge in a single volume I have endeavoured to extend both, theoretical analyses and practical applications, within the necessary limits for a clear understanding of the basic principles and efficient practice on the bridge of modern ocean going ships under various operational conditions. An exception was made with the satellite – aided and inertial navigation systems which have been presented in principle only, because they are not yet introduced into merchant ships.

This book is intended for the students of Merchant Marine Institutes, candidates for graduation as Masters and Mats and for all those who wish to approach the study of modern maritime navigation. My satisfaction would be complete should this book be of assistance to them.

PREFAȚĂ LA EDIȚIA A DOUA

Aprecierea de care s-a bucurat prima ediție a lucrării cât și epuizarea ei la scurt timp după apariție au constituit îndemnul reeditării de față, care vine să completeze bazele teoretice și aplicative ale navigației maritime moderne tratate în prima ediție cu o serie de teme noi, între care menționăm:

– conducerea navei în sistemul rutelor de navigație, instituite prin rezoluții ale Organizației interguvernamentale maritime consultative (I.M.C.O.) în zonele cu trafic intens și cu condiții hidrometeorologice și hidrografice dificile (cap. 14, §6);

– analiza pericolului de abordaj pe baza informațiilor radar în cazul existenței mai multor nave pe drumuri de apropiere, procedee de determinare a acestui pericol și a ordinii de urgență în executarea manevrelor de evitare, sisteme anticoliziune și stații radar la uscat în serviciul navigației (cap. 30, §13 – §17);

– procedeul drumului recomandate și cel al drumului optim în navigația oceanică, navigația în zone cu ghețuri (cap. 34, §5 – §10);

– utilizarea calculatoarelor electronice în navigație (Anexa I).

Ediția a doua a Tratatului de navigație maritimă *a fost, în întregime, revizuită și actualizată și ne exprimăm speranța că va răspunde exigențelor actuale de instruire a studenților Institutului de marină „Mircea cel Bătrân" din Constanța și a ofițerilor maritimi de pe punțile de comandă ale navelor.*

Autorul reînnoiește cititorilor, foștilor săi studenți și tovarăși de călătorii pe mări și oceane, rugămintea de a i se transmite orice observație sau sugestie menită să contribuie la îmbunătățirea conținutului lucrării de față. Tuturor acestora le exprimă cu anticipație întreaga sa simpatie și recunoștință.

Editorilor, pentru înțelegerea menirii acestei cărți și a literaturii de marină, în general, statornicul nostru sentiment de gratitudine.

Autorul

1981

PREFAȚĂ LA EDIȚIA A TREIA

Epuizarea primelor două ediții demonstrează aprecierea de care s-a bucurat lucrarea, dovedind totodată utilitatea temelor abordate în pregătirea de specialitate a absolvenților instituțiilor de învățământ superior de marină; acestea sunt, de altfel și motivele reeditării cărții.

Analizarea de către mine a multiplelor evenimente petrecute pe mare, soldate cu pierderi de nave, avarii grave și pierderi de vieți omenești, de-a lungul anilor până la cei 73 ani ai mei, în calitate de expert de navigație și ca inspector de clasificare la nave românești și străine, m-a condus în mod constant la concluzia că în multe cazuri acestea au fost produse de oameni care au ajuns pe punțile de comandă ale navelor lor având carențe în însușirea bazelor teoretice și aplicative ale științei și artei navigației. Experiența arată că însușirea și aprofundarea temeinică a acestor baze crează un sistem de gândire specific, care se dovedește a fi de importanță vitală la gândirea și folosirea unor soluții optime în anumite situații apărute pe mare. Și viața arată că pe mare asemenea situații pot fi frecvente, iar soluțiile fericite sunt așteptate de regulă în timp scurt, deseori aproape instantaneu evenimentului, echivalente ale unor reflexe ale gândirii, fără posibilitatea aplicării unor soluții alternative ulterioare.

De aceea, pentru cei destinați să ocupe punțile de comandă ale navelor, pregătirea lor temeinică de navigație, ca pregătire de specialitate de bază, devine o obligație de mare răspundere pentru instituțiile de învățământ cât și pentru studenți , iar punerea la dispoziția lor a unei lucrări didactice de valoarea „Tratatului de navigație maritimă" devine o necesitate vitală.

Pentru mine, ca autor, la vârsta mea înaintată, reeditarea are doar valoarea unei mari satisfacții morale, căci am trudit cu pasiune la redactarea ei, știindu-i importanța și faptul că navigația nu se învață după notițe sau se învață cu „goluri" periculoase.

Ediția a treia a „Tratatului de navigație maritimă" este fructul meritelor însumate ale mai multor entuziaști, cărora le port respect și prețuire.

– căpitanilor de cursă lungă Mihail Constantinescu și Constantin Iancu Bratosin, foști bravi studenți ai mei la Institutul de Marină „Mircea cel Bătrân", promoția 1972 – 1976, care au preluat cu pasiune și totală dăruire greutățile de surmonat în calea lungă a reeditării, în momentul în care și-au văzut fostul dascăl copleșit de multiplele probleme deloc ușoare de depășit;

– domnilor și firmelor menționate la pagina 6, care prin sponsorizare au asigurat finanțarea retipăririi lucrărilor, efortul cel mai greu de realizat pentru reeditare și deci cărora le revine meritul principal al realizării acesteia.

Tuturor celor care au contribuit, într-o formă sau alta, la reeditarea Tratatului de navigație maritimă", le exprim gratitudinea mea profundă. La sentimentele mele de gratitudine se raliază cu siguranță și tinerii studenți ai instituțiilor de învățământ de marină, principalii beneficiari ai acestei realizări, cărora le doresc din suflet un succes deplin în însușirea bazelor teoretice și aplicative ale navigației, amintindu-le minunatele versuri ale lui Vesper:

„Gottes sind Woge und Wind,
aber Segel und Steuer,
dass ihr den Hafen gewinnt,
sind euer.".

cu îndemnul pentru „voi" de a prelua „velele și cârma " în mâini sigure spre adăpostul portului.

1996 *Autorul*

INTRODUCERE

Cu câteva decenii în urmă, înainte ca avionul sau nava cosmică să-și facă apariția, prin *navigație* se înțelegea, implicit, *navigația maritimă*, deoarece era unica. Astăzi, *știința navigației* cuprinde trei discipline distincte: *navigația maritimă, navigația aeriană și navigația cosmică*; deși obiectul de studiu – determinarea poziției vehiculului și a direcției de urmat în siguranță spre destinație, cât și unele principii ce stau la baza metodelor de rezolvare – le sunt comune, domeniul și modul de aplicare sunt considerabil diferite.

Navigația maritimă este știința care se ocupă cu studiul metodelor de determinare a poziției navei pe mare și a drumului de urmat în siguranță dintr-un punct în altul pe suprafața Pământului. Denumirea își are originea în cuvântul latin *navigatio* .

Istoria navigației maritime, cu începuturile ei din perioada fenicienilor, grecilor antici și a romanilor, este istoria unei evoluții lente de-a lungul multor secole care au urmat, cu progrese modeste dar continue începând din secolul al XV-lea și cu realizări de performanțe impresionante în ultimile decade.

Primii navigatori își fundamentau iscusința pe experiență. De îndată ce plecau cu navele lor din locurile de adăpost, era firesc să-și pună două întrebări: „unde sunt?" și „care este semnul de urmat spre destinație?"; acestea au constituit germenele obiectului de studiu al navigației, la care au avut de dat răspuns mileniile ce ne despart. Ei asigurau conducerea navelor prin observarea aspectului coastei și a obiectelor de la țărm, menținându-se în apropierea uscatului; când coasta dispărea din vedere pentru scurt timp, orientarea se făcea cu ajutorul aștrilor. În aceste condiții, navigația avea caracterul unei arte.

Realizarea instrumentelor de bord pentru măsurarea direcțiilor (compasul magnetic) a unghiurilor (sextantul) și a timpului (cronometrul), precum și progresele dobândite în cunoașterea Pământului, în domeniile matematice și astronomiei au constituit bazele transformării treptate a navigației din artă în știință. Îmbunătățirea ulterioară a acestor instrumente și a procedeelor de navigație a fost însoțită de realizări marcante în domeniul întocmirii hărților marine. Aceste succese ale secolului al XV-lea și ale perioadei imediat următoare au creat premisele începerii unei noi ere în istoria omenirii, aceea a marilor descoperiri geografice, în care știința și arta navigației – puse la îndemâna temerarilor navigatori de pe pânzarele vremii – au jucat un rol de o importanță covârșitoare.

Cea de-a doua jumătate a secolului al XIX-lea a marcat începutul navigației moderne, care a continuat apoi în ritm susținut în secolul XX. Exigențele transportului maritim și ale pescuitului oceanic din ultimile decade, însumate cu eforturile dramatice din perioada celui de al doilea război mondial, în condițiile progresului general al științei și al tehnologiei – îndeosebi în domeniul electronicii, automaticii și mecanicii fine – au condus la realizarea unor mijloace și sisteme de navigație de performanțe superioare. *Radarul, sistemele hiperbolice de navigație (loran, decca, omega), navigația inerțială și navigația cu ajutorul sateliților artificiali ai Pământului* sunt realizări ale acestei perioade relativ scurte, de o valoare inestimabilă pentru siguranța navigației și economia transporturilor maritime.

Navele de mare tonaj intrate în explorare în ultimii ani şi traficul maritim intens pun probleme deosebite pentru siguranţa navigaţie maritime. Acestea au stimulat cooperarea internaţională pentru asigurarea de navigaţie eficientă a litoralului maritim, organizarea de studii oceanografice şi hidrografice menite să conducă la perfecţionarea documentaţiei nautice, precum şi la instituirea unui sistem informaţional de navigaţie, realizări indispensabile celor de pe punţile de comandă ale navelor moderne, adevărate insule plutitoare pe care sunt concentrate cele mai noi cuceriri ale ştiinţei şi tehnologiei epocii noastre.

Procedeele folosite în navigaţia maritimă în decursul timpului pentru determinarea poziţiei navei şi a drumului de urmat spre destinaţie au evoluat funcţie de *mijloacele de navigaţie* puse la îndemâna navigatorilor. Acestea se grupează în *sisteme de navigaţie,* ce cuprind totalitatea procedeelor ce folosesc *observaţii de navigaţie* cu caracteristici comune; sistemele principale folosite în navigaţia maritimă sunt: *navigaţia estimată, costieră, astronomică şi navigaţia electronică.* În cele ce urmează se face o succintă prezentare a principiilor de bază ale diferitelor sisteme de navigaţie, legată de evoluţia principalelor mijloace de navigaţie.

În *navigaţia estimată,* poziţia navei se determină pe baza direcţiei de deplasare, numită *drumul navei* şi a distanţei parcurse în intervalul de timp considerat. Drumul navei şi, în general, direcţiile în orizont ale observatorului se determină ca mărimi unghiulare în raport cu direcţia nord, indicată la bord de *compas*; distanţa parcursă şi viteza navei se determină cu ajutorul *lochului.* Drumul navei şi distanţa parcursă din punctul de plecare permit navigatorului să-şi determine *poziţia estimată* în orice moment. Drumul navei şi distanţa parcursă pot fi afectate însă de erori, datorită influenţei vântului, curentului, valurilor etc., astfel că poziţia estimată a navei trebuie controlată periodic prin procedee bazate pe observaţii la reperele costiere de navigaţie, la aştri etc.

În *navigaţia costieră,* poziţia navei se determină cu observaţii la reperele de la coastă, în principal prin măsurarea direcţiilor la acestea cu ajutorul compasului, numite *relevmente* . Deoarece pericolele hidrografice (stânci, adâncimi mici etc.) se află îndeosebi în apropierea uscatului, conducerea navei în navigaţia costieră impune multă atenţie şi precizie.

Compasul magnetic, cel mai vechi instrument de navigaţie folosit la bord, are o origine ce este atribuită mai multor surse. Primele referiri scrise datează din secolul al XI-lea, despre un instrument chinezesc, urmate de menţiunile din *Anecdote persane* ale lui Mohamed al Awfi, unde se povesteşte despre un compas arab văzut către anul 1220. Acesta consta dintr-un ac magnetic fixat pe un plutitior, o bucată de lemn, ce plutea la suprafaţa apei într-un recipient.

Ulterior, acest ac şi apoi un sistem de ace magnetice au fost fixate de o *roză a vânturilor (rosae ventorum),* care indica direcţiile în orizont. Corecţiile indicaţiilor compasului pentru *declinaţia magnetică* au început să se aplice începând din secolul al XV-lea. Astfel se ştie că, în traversada spre *Lumea Nouă,* Columb aplica indicaţiilor compasului magnetic o corecţie fixă. Primele hărţi magnetice au fost întocmite în secolul al XVI-lea, iar în anul 1701 Edmund Halley publica *Harta magnetică a Pământului,* asemănătoare cu cea cunoscută astăzi.

Introducerea fierului în construcţia navelor a adus surse noi de erori în indicaţiile compasului, sub forma deviaţiei provocate de *magnetismul navei*. În anul 1838 astronomul Airy a fundamentat *teoria deviaţiilor* şi soluţia teoretică pentru compensarea compasului magnetic. În secolul al XIX-lea s-au realizat primele compasuri cu dispozitive de compensare, pe baza principiilor ce se aplică şi în prezent.

La navele cu corpul de fier, în condiţii de vizibilitate redusă, când controlul indicaţiilor compasului magnetic sub efectul magnetismului navei nu mai este practic posibil, precizia navigaţiei poate fi considerabil afectată. Aceste condiţii noi de la bordul navei au reclamat necesitatea realizării unui instrument de orientare perfecţionat, independent de efectele magnetismului.

Girocompasul, a cărui funcţionare se bazează pe *principiul giroscopului*, a fost aparatul care a răspuns acestor exigenţe. Deşi principiul enunţat era cunoscut încă din anul 1852, în urma demonstraţiilor lui Foucault, instalaţia electromecanică complexă ce constituie compasul giroscopic, capabilă să funcţioneze în condiţiile de la bordul navei, a fost realizată abia în anul 1908.

Lochul este instrumentul folosit la bordul navei pentru măsurarea vitezei şi a distanţei parcurse într-un anumit interval de timp.

Lochul ordinar, primul tip de loch folosit la bordul velierelor, a fost realizat către anul 1620. El consta dintr-un sector de lemn, lestat în partea inferioară cu o lamă de plumb şi legat de o saulă în sistem „labă de gâscă" („gură de zmeu"). Pe saulă, începând de la un semn numit „deşteptător", se făceau nişte noduri separate de spaţii egale cu distanţa parcursă în timp de 30 secunde de către o navă ce merge cu viteza de o milă marină (1852 m/h); timpul se măsura cu un nisipar.

Pentru măsurarea vitezei navei se fila saula cu sectorul de lemn la apă, în pupa navei; acesta se menţinea în poziţie verticală, ca un punct fix, datorită rezistenţei opuse. Când „deşteptătorul" trecea prin mâna marinarului ce fila saula, se răsturna simultan nisiparul; la scurgerea celor 30 de secunde, marcate de nisipar, se stopa filarea saulei. Dacă nava mergea cu *n* mile pe oră, însemna că prin mâna marinarului se filau *n* noduri; pentru simplificarea comunicării, el raporta la comanda navei: „viteza *n* noduri". Astfel s-a ajuns la noţiunea de *nod*, care exprimă viteza navei de o milă pe oră.

În secolul XIX, lochul ordinar a cedat locul *lochului mecanic*, care constă dintr-o elice cu pas constant, remorcată în pupa navei; rotirea elicei, proporţional cu deplasarea navei, se transmite prin intermediul saulei la un contor mecanic ce indică distanţa parcursă. În prezent se foloseşte *lochul hidrodinamic*, care determină viteza navei pe baza presiunii hidrodinamice opuse de apă la deplasarea navei şi *lochul ultrason Doppler*, care aplică proprietăţile propagării ultrasunetelor în apa de mare şi efectul Doppler.

Problemele de navigaţie estimată şi costieră se rezolvă în principal pe hărţi marine. *Harta marină* este reprezentarea plană a unei zone maritime sau oceanice, conţinând datele necesare rezolvării problemelor de poziţie şi drum în navigaţie: conturul coastei, adâncimea apei, repere de navigaţie (faruri etc...). *Hidrografia* este ştiinţa care se ocupă cu efectuarea măsurătorilor şi culegerea datelor necesare întocmirii hărţilor marine.

Grecii antici și romanii dispunea de anumite informații hidrografice, descrierea anumitor zone restrânse de navigație, care s-au transformat ulterior în cărțile pilot din perioada moderne. Aceste descrieri fac referiri la existența unor hărți ale zonelor navigate, care spre regretul nostru nu au fost păstrate.

Apariția compasului magnetic și eliberarea navigatorilor de grija menținerii în vedere a coastei au creat necesitatea unor harți marine destinate uzului navigației. În secolul al XIV-lea au apărut hărți pentru navigația în anumite sectoare ale Meditaranei; ele erau mai mult niște crochiuri ale unor zone maritime restrânse, fără a fi rezultatul unor proiecții cartografice.

Prima hartă fundamentată pe o proiecție matematică, folosită ulterior la întocmirea hărților marine a fost publicată în anul 1569 de Gerhard Krämer, matematician și geograf flamand, cunoscut sub numele de *Mercator.*

În secolele următoare s-au publicat numeroase hărți marine în proiecție Mercator, al căror conținut era bazat îndeosebi pe observațiile navigatorilor, efectuate în călătoriile lor în scopuri comerciale sau de explorare. Navigatori binecunoscuți ca James Cook, Bougainville, Lisianski și alții, aparținând diferitelor popoare au făcut ca *suprafețele albe* de pe hărțile marine să se reducă treptat. În secolul al XIX-lea majoritatea țărilor maritime aveau servicii hidrografice ocupate cu efectuarea de studii hidrografice și redactarea de hărți marine.

Când nava se depărta de uscat și reperele costiere dispăreau din vedere, poziția navei se determina cu observații la „farurile cerești", la aștri.

În navigația astronomică, poziția navei se determină prin măsurarea înălțimii aștrilor deasupra orizontului cu *sextantul* și stabilirea cu precizie a momentului observației, cu *cronometrul*; problema de poziție se rezolvă cu ajutorul *trigonometriei sferice*, prin prelucrarea observațiilor și a coordonatelor aștrilor, obținute din *efemerida nautică* . Observațiile se fac la Soare, pe timpul zilei, iar pe timpul nopții la Lună, planete și stelele cele mai luminoase. Navigația astronomică a devenit posibilă după perfecționarea matematicii și astronomiei, în măsură să furnizeze efemeridele nautice – cu coordonatele aștrilor pe sfera cerească și realizarea instrumentelor de observație: *sextantul și cronometrul.*

Sextantul este instrumentul folosit, în principal, pentru măsurarea înălțimii aștrilor deasupra orizontului vizibil. Primul instrument folosit în acest scop, *astrolabul,* inventat de Hiparh în anul 160 î.e.n. în insula Rodos, îmbunătățit și simplificat ulterior de Ptolemeu din Alexandria, în secolul II, nu a reușit să realizeze precizia necesară în navigația astronomică.

Principiul sextantului cu dublă reflexie folosit în navigație a fost explicat în anul 1700, de Newton; sextantul, într-o formă apropiată de cea cunoscută în prezent, a fost realizat în anul 1731.

Introducerea sextantului în navigația astronomică a făcut posibilă calcularea latitudinii locului prin observații la Soare în momentul culminației și la Steaua Polară; determinarea completă a poziției navei, deci și calculul longitudinii, impunea realizarea unui aparat precis de măsurare a timpului.

Cronometrul a fost realizat în secolul al XVIII-lea, în urma unor eforturi considerabile, determinate de cerințele practice implicate de avântul general al navigației, între care și necesitatea stabilirii poziției ținuturilor descoperite.

Eforturi simultane întreprinse în mai multe țări maritime ale vremii au condus, în cele din urmă, la rezolvarea problemei. Pentru a se evidenția dramatismul acestora, merită a se arăta că în anul 1713, în Anglia, prin hotărârea Parlamentului s-a organizat *Biroul longitudinii*, care avea sarcina realizării cronometrului, condiție a realizării complete a problemei determinării poziției pe mare. Datorită importanței și urgenței problemei, această instituție a oferit premiul de 10 000 de lire sterline, sumă imensă în acea vreme, celui care va realiza un cronometru de o precizie ce ar fi permis determinarea longitudinii cu o eroare maximă de 60 de mile marine după 42 de zile de navigație; aceasta înseamnă că *marșa diurnă* (valoarea zilnică în mersul cronometrului)să nu depășească valoarea absolută de 3 secunde, ceea ce consituia o sarcină grea pentru mecanica de precizie a timpului, dacă ținem seama de condițiile specifice de funcționare la bord. Premiul se dubla, dacă în aceleași condiții, eroarea maximă nu depășea 30 de mile.

În ciuda pesimismului multora, primului cronometru de navigație a fost conceput în anul 1728 de către John Harrison. În anul 1761, al patrulea cronometru al lui realiza, într-un voiaj de cinci luni spre Jamaica, marșa diurnă medie de 0,1 secunde. Cu toată performanța obținută, se spune că ar fi fost necesară intervenția capului încoronat al Angliei din acea vreme pentru ca Harrison să intre în posesia sumei, la care cu prisosință avea dreptul, abia în anul 1773.

Aplicabilitatea procedeelor de navigație costieră și astronomică este limitată de condițiile de observație; reperele costiere nu pot fi observate pe timp cu vizibilitate redusă; de asemenea, aștrii, când cerul este acoperit sau orizontul neclar.

Sistemele de navigație electronică, realizare a științei și tehnologiei secolului XX, creează posibilitatea rezolvării problemei de poziție cu precizie, indiferent de condițiile de vizibilitate. Navigația electronică cuprinde în prezent următoarele sisteme principale: *radiogoniometria, radarul, sistemele hiperbolice, navigația cu sateliți și navigația inerțială.* Cu excepția navigației inerțiale, celelalte sisteme ale navigației electronice folosesc proprietățile radioundelor pentru rezolvarea problemei de poziție. În ansamblu, ele se consideră sisteme de navigație electronică, deoarece realizarea lor este, în principal, de domeniul tehnologiei electronice.

Radiogoniometrul, creație a începutului secolului XX, constă dintr-un radio-receptor și o antenă-cadru, realizată de către Alexandru Popov. Punctul navei se determină prin măsurarea direcției de propagare a semnalelor radio emise de stații speciale pe coastă, numite *radiofaruri*, de poziții cunoscute. Radiogoniometria aduce servicii prețioase navigației în condiții de vizibilitate redusă pentru determinarea poziției navei și executarea operațiunilor de salvare a navelor aflate în pericol pe mare.

Eforturile depuse de Aliați în perioada celui de al doilea război mondial în scopuri militare, cât și pentru asigurarea transporturilor maritime în condițiile specifice de navigație pe timp de război (farurile stinse, radiofarurile nu funcționează, existența barajelor de mine etc.) au fost încununate de succes prin realizarea radarului și a sistemulor hiperbolice de navigație. Aceste sisteme de radiolocație și-au verificat inestimabila valoare atât în timp de război, pentru victoria Aliaților și, mai ales pe timp de pace, în serviciul siguranței navigației și a economiei transporturilor maritime.

Radarul (denumire derivată prin însumarea primelor litere ale cuvintelor ce-l defineau: „*RA*dio *D*etecting *A*nd *R*anging") este un mijloc complex de navigație electronică, care indică prezența coastei, navelor, geamandurilor etc. pe un ecran panoramic și permite măsurarea relevmentului și a distanței la ele. Pe baza acestora se pot rezolva două probleme de bază în navigație: determinarea poziției navei și evitarea pericolului de coliziune pe mare. Serviciile radarului sunt deosebit de valoroase în condiții de vizibilitate redusă și, în general, pentru navigația în ape înguste cu condiții dificile.

Prin posibilitățile pe care le oferă, de identificare a navelor pe mare în condițiile de vizibilitate redusă, de măsurare a relevmentului și distanței la ele, radarul a creat un nou obiect de studiu și domeniu de aplicare în navigație – cel de evitare a abordajelor pe mare. În această idee, prin interconectarea radarului cu girocompasul, lochul și un calculator electronic specializat s-a realizat radarul anticoliziune; acesta indică drumurile și vitezele navelor aflate în jurul navei proprii, distanțele minime la care se trece pe lângă ele și conține un sistem de alarmare pentru navele față de care există pericol de abordaj, furnizând și datele manevrei de evitare.

Sistemele hiperbolice de navigație au la bază următorul principiu de determinare a poziției navei: un lanț de stații de emisie transmit anumite radiosemnale; cu ajutorul unor receptoare speciale, la bord se determină diferența de distanță la fiecare pereche de stații. Locul geometric de egală diferență a distanțelor la o pereche de stații este o hiperbolă, ale cărei focare, de poziții cunoscute, obținute prin observarea simultană a două perechi de stații, reprezintă poziția navei. Problema de poziție se rezolvă pe hărți speciale, care conțin rețeaua hiperbolică a lanțului de stații.

Sistemul loran (denumire obținută din însumarea primelor litere ale cuvintelor „*LO*ng *RA*nge *N*avigation") a fost realizat în 1942. *Stațiile loran* emit semnale sub formă de impulsuri de foarte scurtă durată, care se repetă la intervale regulate de timp. *Receptorul loran* instalat la bordul navei determină diferența de distanță la perechea de stații observate prin măsurarea diferenței de timp dintre momentele recepției impulsurilor de la cele două stații. În prezent se dispune de două sisteme, loran *A* și loran *C*, al doilea fiind de performanțe superioare. Bătaia maximă a stațiilor loran *C* este de cca 2300 Mm. Conceput ca un sistem pentru navigația la distanțe mari, așa cum arată și denumirea lui, sistemul loran acoperă în prezent doar o parte din zona navigabilă a globului (vezi fig. 27-5 și 27-12).

Sistemul decca a fost folosit prima dată în anul 1944, la debarcarea Aliaților în Normandia. *Stațiile decca* folosesc sistemul de emisie în unde continue, iar diferența de distanță la perechea de stații se determină cu *receptorul decca* prin măsurarea diferenței de fază. Este cel mai precis s.stem de radiolocație, motiv pentru care este aplicat îndeosebi la acoperirea zonelor dificile de navigație și a acelora cu un trafic intens. Bătaia maximă utilă este de aproximativ 240 de mile.

Sistemul omega a început să fie dezvoltat începând din anul 1957. Stațiile omega emit unde continue în banda de frecvențe de 10-14 kHz, cele mai joase frecvențe folosite până în prezent, cu o bătaie utilă până la 8 000 Mm. *Receptorul omega* determină diferența de distanță la perechea de stații observate prin măsurarea diferenței de fază. Dat fiind marea bătaie realizată, un sistem de numai opt stații

omega va fi capabil să acopere întreaga suprafață terestră; în prezent, sistemul funcționează cu șapte stații, cea de a opta fiind în curs de instalare.

Primul sistem de navigație cu sateliți a fost realizat în anul 1964, fiind pus la dispoziția generală a navigației în anul 1967, cunoscut sub denumirea de TRANSIT sau NNSS („*N*avy *N*avigation *S*atelite *S*ystem").

Sistemul TRANSIT constă din mai mulți sateliți care gravitează în jurul Pământului pe orbite polare, cu o anumită perioadă de revoluție. Planele orbitelor sunt astfel stabilite încât sateliții acoperă întreaga suprafață terestră. Principiul aplicat pentru rezolvarea problemei de poziție este similar celui folosit la sistemele hiperbolice, cu diferența esențială că stațiile de emisie sunt instalate la bordul sateliților, ale căror poziții pe orbite pentru momentul observației sunt determinabile.

În prezent, se află în curs de experimentare sistemul sateliților geostaționari. Aceștia sunt plasați pe orbite circulare ecuatoriale și execută o mișcare de revoluție în sensul mișcării de rotație terestră, cu o perioadă egală cu a acesteia, având deci o poziție staționară în raport cu Pământul. *Sistemul geostaționar* permite realizarea unor instalații de bord mai simple și mai puțin costisitoare, iar sateliții pot fi folosiți și pentru serviciul de radiocomunicații.

În navigația inerțială, aplicată în marină din anul 1958, informația fundamentală folosită la calculul cordonatelor este accelerația navei, măsurată la bord cu ajutorul a două *accelerometre* menținute în orizont și orientate pe direcțiile nord-sud. În principiu, *navigatorul inerțial* folosit în marină rezolvă problema de poziție prin determinarea continuă a deplasărilor navei în sistemul de axe format de meridianul și paralelul locului și însumarea lor la coordonatele *punctului inițial*, de coordonate cunoscute.

Caracteristica navigatorului inerțial față de toate celelalte sisteme de navigație constă în faptul că determinarea poziției este independentă de sursele exterioare de informații.

Sistemul inerțial, navigația cu sateliți, navigația astronomică și radarul sunt aplicate atât în navigația maritimă, cât și în cea aeriană și cosmică: sistemele hiperbolice loran, decca și omega sunt folosite în navigația maritimă și cea aeriană.

Câteva concluzii

Succinta prezentare făcută are drept scop de a evidenția evoluția trăită de navigație de la artă la știință, odată cu dezvoltarea mijloacelor de navigație. La rândul lor, mijloacele de navigație au evoluat paralel cu progresul științei și tehnologiei, realizarea lor fiind determinată de cerințele transportului pe mare, în aer și recent în Cosmos, ale explorării platformelor continentale pentru găsirea unor zăcăminte de substanțe minerale utile, ale pescuitului oceanic etc., activități de importanță vitală pentru economia mondială și dezvoltarea cooperării internaționale. Multe din eforturile depuse pentru dezvoltarea sistemelor moderne de navigație, cât și instituirea anumitor măsuri menite să sporească siguranța navigației maritime au fost coordonate cu succes de *Organizația interguvernamentală maritimă consultativă* (I.M.C.O.), instituție specializată a *Organizației Națiunilor Unite*.

Îndeosebi în ultimile trei decenii, navigația maritimă a realizat progrese de o înaltă valoare practică; mijloacele care deservesc sistemele clasice de navigație

(estimată, costieră și astronomică) au fost modernizate și s-au creat noi sisteme de navigație de performanțe superioare. Între sistemele realizate, pentru navele maritime de transport și pescuit oceanic, în etapa actuală, o importanță deosebită o prezintă radarul și sistemele hiperbolice (decca, loran, omega); ele completează cu o înaltă eficiență sistemele clasice de navigație, astfel încât să se poată asigura conducerea navei cu succes în cele mai variate condiții ce se pot întâlni pe mare, în navigația de-a lungul coastei, la larg, pe vizibiliatate redusă etc.

Generalizarea sistemului omega odată cu terminarea instalării celor opt stații, ce vor asigura acoperirea întregii suprafețe terestre, va aduce servicii deosebite navigației la larg și chiar în zonele costiere caracterizate prin condiții normale de navigație. Receptorul omega este relativ ieftin și oferă condițiile unei exploatări extrem de simple.

Între sistemele moderne, în viitorul previzibil, aplicabilitatea cea mai mare la bordul navelor maritime este rezervată sistemului omega – pentru navigația la larg pe toate mările și oceanele lumii, sistemului decca – în navigația din zonele costiere dificile, alături de radar – în zonele costiere, cele cu trafic intens, cât și pentru evitarea abordajelor în condiții de vizibilitate redusă.

Navigația cu sateliți și navigația inerțială folosesc mijloace de o înaltă complexitate tehnică, extrem de costisitoare; aceste considerente fac ca *pentru moment* aplicabiltiatea lor la bordul navelor maritime comerciale să fie foarte limitată. Față de concluziile pe care ni le impune istoria naviagației este de presupus că experimentarea la care sunt supuse de viața la bord și în laboratoarele de cercetare va conduce la găsirea unor soluții tehnologice mai simple și mai puțin costisitoare, care să permită armatorilor de nave comerciale să le asigure locul cuvenit la bord.

„*Siguranța înainte de toate*!" constituie legea de bază a celor de pe punțile de comandă ale navelor maritime în stabilirea soluțiilor, în clipele marilor decizii, formulă care sintetizează concluzia fundamentală pe care o impune examenul necruțător al mării în activitatea de conducere a navelor. Mijloacele de navigație modernizate și moderne, puse la îndemâna unor navigatori competenți, oferă posibilitatea aplicării soluției optime în conducerea navei față de condițiile concrete de pe mare, aducându-și astfel o contribuție de o neasemuită valoare pentru siguranța navigației și creșterea eficienței economice a activității pe care nava o deservește.

Conducerea navei în siguranță în condițiile extrem de variate ce pot fi întâlnite pe mările și oceanele lumii, cu probe de multe ori imprevizibile create de capricioasa mare, impune navigatorilor de cursă lungă necesitatea unei pregătiri multilaterale de navigație, în care trebuie să-și găsească locul atât cunoașterea sistemelor moderne, cât și a celor clasice. Și aceasta pentru că se știe, tot din experiența navigatorilor, că „marea nu cruță pe nepricepuți!".

Câteva cuvinte despre perspective

Creșterea volumului mărfurilor de transportat pe calea mării în cadrul dezvoltării economiei mondiale și a cooperării internaționale, necesitatea extinderii pescuitului oceanic, a explorărilor și a exploatărilor petroliere, miniere – de pe platformele

continentale etc., cerințele transporturilor aeriene și foarte probabil ale celor cosmice vor consitui desigur imperative suficient de convingătoare ale viitorul pentru dezvoltarea navigației, în condițiile creșterii exponențiale a posibilităților pe care le va crea progresul științei și al tehnologiei.

Rațiuni de acest ordin ne lasă să întrevedem că după aplicarea navigației cu sateliți și inerțiale la bordul navelor maritime este sigur că se vor introduce sisteme produse de tehnologii noi, unele dintre ele deja cunoscute dar nefolosite încă în acest domeniu, cum sunt circuitele integrate pe scară largă, laserul etc. Căci omenirea din pragul mileniului următor va trebui să găsească răspuns cerințelor enumerate mai sus și, pe de altă parte, ea nu va putea să rămână indiferentă în fața efectului economic și a implicațiilor imense legate de pericolul poluării, pe care l-ar avea, de exemplu, sinistrul maritim al unui tanc petrolier de mare tonaj.

Un alt argument puternic pentru crearea condițiilor de creștere a siguranței navigației maritime în viitor îl constitui foarte probabil necesitatea extinderii propulsiei atomice la nave. Și una dintre căile principale pentru prevenirea pericolului poluării atomice creat în caz de abordaje și eșuări grele, este aceea de a reduce probabilitatea unor asemenea accidente prin asigurarea unor mijloace mai eficiente de navigație.

Toate acestea vor trebui să se oglindească desigur în profilul formativ complex al navigatorului epocii noastre și al viitorului.

PARTEA ÎNTÎI
Noțiuni fundamentale

Pământul și știința navigației
Orientarea pe mare
Determinarea direcțiilor la bordul navei cu compasul magnetic
Determinarea direcțiilor la bordul navei cu compasul giroscopic
Determinarea distanței parcurse de navă
Măsurarea adâncimii apei
Hărți marine. Documente nautice

PART I
Basic knowledge

1 PĂMÂNTUL ȘI ȘTIINȚA NAVIGAȚIEI

§1 Forma și dimensiunile Pământului

Relieful suprafeței Pământului are o formă neregulată, care nu este susceptibilă vreunei definiții geometrice. Neregularitățile acestui relief sunt însă neînsemnate în raport cu distanțele la centrul Pământului.

Științele aplicate, care au ca obiect de studiu Pământul sau aplicarea cunoștințelor despre Pământ în diferite domenii, necesitau asimilarea formei planetei noastre cu aceea a unui corp geometric regulat. O asemenea suprafață geometrică regulată, imaginară, cea mai apropiată de cea reală, avea să ofere acestor științe, între care enumerăm *geodezia, astronomia, cartografia, navigația* etc., posibilitatea stabilirii unor relații matematice riguroase pentru calcularea diferitelor elemente necesare.

Ca un prim pas în intenția asimilării reliefului Pământului la o formă geometrică regulată, s-a imaginat că suprafața sa se confundă cu nivelul mediu al oceanelor prelungit pe sub continente și învelind întreg globul terestru (fig. 1-1); această suprafață fictivă poartă denumirea de geoid. Geoidul constituie obiectul de studiu al *geodeziei.*

Suprafața geoidului este normală în orice punct al ei la verticala locului și constituie nivelul de referință față de care se exprimă altitudinile punctelor de pe suprafața terestră; de aceea, geoidul se mai definește ca fiind *suprafața de nivel de altitudine zero.*

Poziția unui punct de pe suprafața Pământului deci, în raport cu geoidul, se determină prin proiecția punctului pe suprafața de nivel a geoidului și altitudinea lui față de această suprafață.

Geoidul se obține prin determinarea verticalei locului în diferite puncte ale globului terestru, față de care suprafața geoidului se consideră normală și prin stabilirea nivelului mediu al mării, acolo unde această operațiune este posibilă. Observațiile geodeziei au relevat însă faptul că direcția verticalei locului, ca și intensitatea câmpului gravitațional, nu variază regulat pe suprafața Pământului, datorită repartiției neuniforme a densității maselor din constituția planetei noastre, atât din compoziția scoarței terestre, cât și în profunzime.

Acest fapt face ca geoidul să nu prezinte o suprafață geometrică regulată; în aceste condiții, determinarea mărimilor unghiulare și a distanțelor între diferitele

puncte terestre reprezentată pe geoid ar implica anumite dificultăţi, ca urmare a faptului că geoidul nu se poate supune unor relaţii geometrice precise.

Studiul atent al geoidului conduce la concluzia că acesta se apropie foarte mult de o sferă, care prezintă o oarecare bombare la ecuator şi o uşoară turtire la poli. Astfel, în cadrul ştiinţelor aplicate, din rândul cărora face parte şi navigaţia, într-o primă aproximaţie, Pământul se consideră de forma unei sfere; când calculele sau operaţiunile de efectuat impun o mai mare precizie, cum este cazul în geodezie, astronomie sau hidrografie, într-o a doua aproximaţie, Pământul se consideră de forma unui *elipsoid de revoluţie*, denumit *elipsoid terestru*. Dacă geoidul se înscrie într-un elipsoid se constată că aceste corpuri sunt foarte apropiate, diferenţele de nivel măsurate pe verticala locului putând fi practic considerate ca neglijabile (nedepăşind 150 m). În concluzie, *elipsoidul este corpul geometric regulat cel mai apropiat de geoid.*

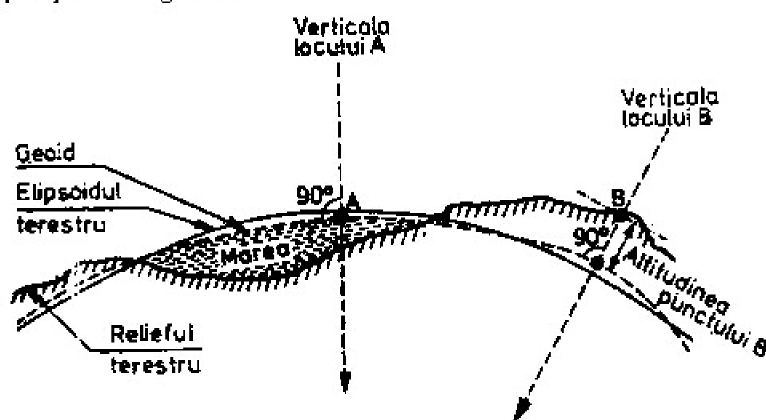


Fig. 1-1

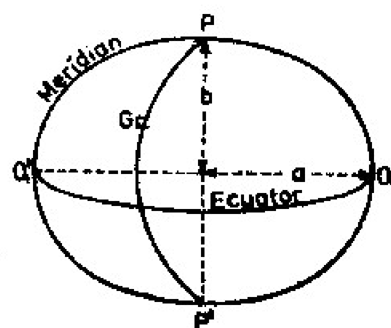


Fig. 1-2

Elipsoidul de revoluţie reprezentând elipsoidul terestru se obţine prin rotirea elipsei PQP′Q′ în jurul axei mici PP′ (fig. 1-2).

Axa mică a elipsoidului terestru PP′ reprezintă axa de rotaţie a Pământului de la vest la est şi se numeşte *axa polilor tereştri*. Punctele de intersecţie ale axei PP′ cu suprafaţa elipsoidului terestru se numesc *poli tereştri: Polul nord (P) şi Polul sud (P′).*

Intersecţia elipsoidului terestru cu un plan care conţine axa polilor determină o elipsă denumită *elipsă meridiană* (PQP′Q′); jumătăţile de elipsă cuprinse între cei doi poli (PQP′ şi PQ′P′) se numesc *meridiane*. Meridianul care trece prin observatorul astronomic din Greenwich (de lângă Londra) se numeşte *meridian Greenwich, meridian zero, primul meridian* sau *meridian internaţional.*

Semiaxa mare(a) a elipsei, prin rotaţie, determină *planul ecuatorului terestru*; intersecţia acestui plan cu suprafaţa elipsoidului determină un cerc, denumit *cercul mare ecuatorial* sau *ecuatorul terestru.*

Intersecţia elipsoidului terestru cu un plan perpendicular pe axa polilor, paralel cu planul ecuatorului terestru, determină un cerc denumit *cerc paralel* sau *paralel.*

Suprafaţa elipsoidului terestru generată prin rotirea elipsei meridiane în jurul axei sale se consideră determinată, dacă se cunosc elementele acestei elipse. Pentru determinarea elipsei meridiane s-a procedat la stabilirea lungimii arcului de meridian

de 1°, la diferite latitudini, din care s-au dedus valorile cele mai probabile ale elementelor ce caracterizează elipsoidul terestru, şi anume:

– semiaxa mare (a);

– semiaxa mică (b);

– turtirea (α):

$$\alpha = \frac{a-b}{a} = 1 - \frac{b}{a} \tag{1-1}$$

– excentricitatea (e):

$$e^2 = \frac{a^2-b^2}{a^2} = 1 - \frac{b^2}{a^2} \tag{1-2}$$

După cum se poate vedea din relaţiile de mai sus, pentru determinarea elipsei meridiane a elipsoidului terestru este suficient să se cunoască lungimea celor două semiaxe, lungimea uneia dintre semiaxe şi turtirea sau excentricitatea elipsoidului.

Tabelul 1-1 redă elementele elipsoidului terestru determinate de diferiţi oameni de ştiinţă.

Tabelul 1-1

Autorul	Anul	Semiaxa mare a (în metri)	Semiaxa mică b (în metri)	Tur area α
Everest	1830	6377278	6356075	1/300.8
Bessel	1841	6377397	6356079	1/299.2
Airy	1849	6377563	6356257	1/229.3
Clarke	1866	6378206	6356584	1/295.0
Helmert	1906	6378200	6356818	1/298.3
Hayford („elipsoidul internaţional“)	1910	6378388	6356912	1/297.0
Krasovski	1940	6378245	6356863	1/297.0

Conferinţa internaţională de geodezie şi geofizică de la Madrid din anul 1924 a adoptat elementele elipsoidului terestru stabilite de către Hayford, fiind folosite în multe state ca elemente ale elipsoidului terestru de referinţă, cunoscut sub denumirea de *elipsoidul internaţional*.

În Uniunea Sovietică, *elipsoidul Krasovski* a fost adoptat în 1946 ca elipsoid terestru de referinţă pentru lucrările de geodezie şi cartografie; elementele acestui elipsoid stau la baza întocmirii *Tablelor Nautice MT-53* folosite şi la bordul navelor noastre.

După cum se poate vedea din datele tabelului 1-1, turtirea elipsoidului terestru este mică, diferența dintre semiaxa mare și semiaxa mică – după elementele elipsoidului internațional, fiind de numai 21476 m; practic, deci, se poate afirma că elipsoidul terestru se apropie foarte mult de o sferă. De aceea, *elipsoidul terestru* mai este cunoscut și sub denumirea de *sferoid terestru*. Aspectul de sferoid este scos în evidență și de comparația care se poate face între lungimea ecuatorului terestru și cea a elipsei meridiane: circumferința ecuatorului este de 40 077 km, iar conturul elipsei meridiane de 40 009 km.

Avându-se în vedere cele arătate mai sus, în navigație, Pământul se consideră de forma unei sfere, denumită *sferă terestră*.

Asimilarea geoidului cu elipsoidul de revoluție s-a făcut din rațiunea obținerii unei suprafețe regulate, care poate fi supusă unor relații matematice riguroase, necesitate reclamată de științele aplicate.

Asimilarea elipsoidului terestru cu sfera terestră se face pe baza constatării diferenței, practic neînsemnate, între cele două suprafețe, în scopul simplificării rezolvării problemelor în navigație și a anumitor probleme ale cartografiei, știut fiind faptul că proprietățile geometrice ale sferei sunt considerabil mai simple decât ale elipsoidului.

Sfera terestră se consideră drept o sferă, care are volumul egal cu cel al elipsoidului terestru. Raza sferei terestre (R) se calculează deci din egalitatea dintre volumul sferei terestre și cel al elipsoidului terestru:

$$\frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{4}{3}\pi a^2 b$$

de unde:

$$R = \sqrt[3]{a^2 b} \cong 6371 \text{ Km} \qquad (1\text{-}3)$$

Această valoare a razei sferei terestre, cu o diferență de ordinul metrilor, se poate obține și dacă se consideră egalitatea suprafeței elipsoidului cu cea a sferei. În sfârșit, o valoare apropiată pentru raza sferei terestre se obține și dacă se calculează din semisuma semiaxelor elipsoidului terestru de referință:

$$R = \frac{a+b}{2} \cong 6368 \text{ Km}$$

§2 Elementele sferei terestre. Determinarea poziției unui punct pe suprafața sferei terestre

1 Elementele sferei terestre

Sfera terestră, în mod analog cu elipsoidul terestru, este definită de următoarele elemente de referință (fig. 1-3):

– *axa polilor* (P_NP_S), în jurul căreia Pământul execută mișcarea de rotație de la vest la est. Axa polilor înțeapă sfera terestră în două puncte: *Polul nord* (P_N), îndreptat spre Steaua Polară (sau polul de unde Pământul se vede rotindu-se în sens direct) și *Polul sud* (P_S), la extremitatea opusă;

– *planul ecuatorului terestru,* perpendicular pe axa polilor ce trece prin centrul pământului. Intersecția acestui plan cu suprafața sferei terestre determină un cerc mare denumit *ecuatorul terestru.* Planul ecuatorului împarte sfera terestră în două emisfere: *emisfera nordică,* ce conține Polul nord și *emisfera sudică,* ce conține Polul sud. Intersecția sferei terestre cu un plan oarecare paralel cu planul ecuatorului terestru, perpendicular deci pe axa polilor, determină un cerc mic denumit *cerc paralel* sau *paralel.*

Intersecția sferei terestre cu un plan care conține axa polilor determină un cerc mare (P_NQ P_SQ'). Semicercul cuprins între cei doi poli se numește *meridian* (P_NQ P_S); semicercul opus, cuprins în același plan, se numește *antimeridian* (P_NQ' P_S). *Meridianul Greenwich* (*meridianul zero, primul meridian* sau *meridianul internațional*) împarte sfera terestră în două emisfere: *emisfera estică* și *emisfera vestică.* Considerându-ne într-un punct oarecare al meridianului Greenwich, stând cu fața spre Polul nord, emisfera estică este situată în dreapta, iar emisfera vestică în stânga.

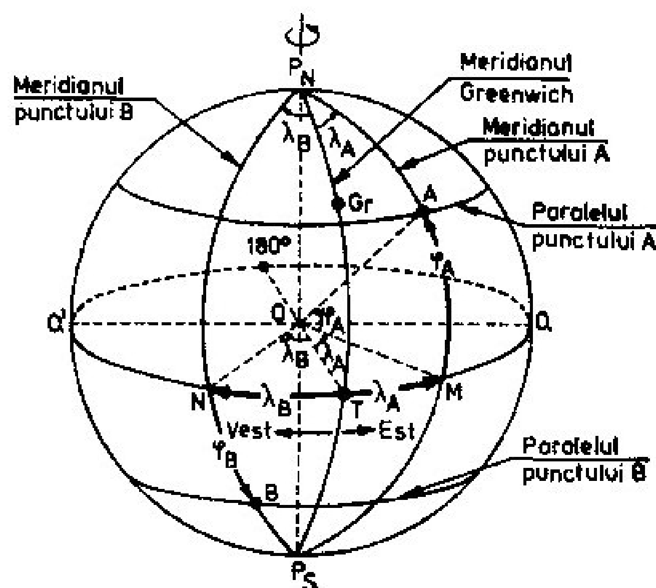


Fig. 1-3

Antimeridianul meridianului Greenwich este denumit *meridianul 180°* sau meridianul *de schimbare a datei.*

2 Coordonate geografice

Poziția unui punct oarecare pe suprafața sferei terestre se determină în raport de două cercuri mari ale căror plane sunt reciproc perpendicaulare (fig. 1-3):

– ecuatorul terestru;

– meridianul Greenwich.

Orice punct (ex. *A* sau *B*) de pe suprafața sferei terestre se află la intersecția unui paralel cu un meridian, denumite *paralelul locului* și, respectiv, *meridianul locului.*

Poziția punctului *A* pe sfera terestră, de exemplu, se obține prin determinarea paralelului și meridianului locului, la intersecția cărora se află punctul respectiv.

Paralelul locului se determină prin *latitudinea* sa, iar meridianul locului prin *longitudine*. Poziția unui punct pe suprafața Pământului se determină deci cu ajutorul a două coordonate; *latitudinea și longitudinea*, denumite *coordonate geografice*.

. *Latitudinea* unui punct pe suprafața Pământului este arcul de meridian sau unghiul la centru corespunzător, măsurat de la ecuator până la paralelul locului. Latitudinea punctului A deci este egală cu $\overset{\frown}{MA} = \sphericalangle MOA$. Toate punctele situate pe același paralel au aceeași latitudine; de aceea, cercurile paralele pe sfera terestră mai poartă și denumirea de *paralele de latitudine*.

Latitudinea poate lua valori cuprinse între 0° (la ecuator) și 90° (la poli); latitudinea se consideră nordică sau pozitivă dacă punctul este situat în emisfera nordică și sudică sau negativă, dacă locul se află în emisfera sudică. Se notează cu simbolul v, astfel:

$\varphi_A = 44°32'.5N$ sau $\varphi_A = +44°32'.5$

$\varphi_B = 51°49'.0S$ sau $\varphi_B = -51°49'.0$

Deoarece verticala locului, normală la suprafața sferei terestre în punctul considerat, trece prin centrul Pământului mai poate fi definită și ca unghiul dintre verticala locului și planul ecuatorului.

Longitudinea unui punct pe suprafața Pământuluiu este arcul de ecuator terestru sau unghiul la centru corespunzător, măsurat de la meridianul Greenwich, spre est sau spre vest, până la meridianul locului. Longitudinea punctului A este egală deci cu arcul $TM = \sphericalangle TOM$. Toate punctele situate pe același meridian au aceeași longitudine.

Longitudinea mai poate fi definită și ca unghiul sferic (la pol) cuprins între planul meridianului Greenwich și planul meridianului locului, contat spre est sau spre vest.

Longitudinea poate lua valori de la 0° (punctele situate pe meridianul Greenwich) până la 180' (punctele situate pe meridianul 180°); longitudinea este considerată estică sau pozitivă, dacă locul este situat în emisfera estică și vestică sau negativă, dacă punctul se află în emisfera vestică. Se notează cu litera λ, astfel:

$\lambda_A = 33°23'.7E$ sau $\lambda_A = +33°23'.7$

$\lambda_B = 29°23'.2W$ sau $\lambda_B = -29°48'.2$

Meridianul Greenwich a fost stabilit ca meridian de origine pentru măsurarea longitudinilor la *Conferința internațională de la Washington*, din anul 1884.

La intersectarea paralelului locului, determinat de latitudine, cu meridianul locului, determinat de longitudine, se obține poziția punctului considerat pe sfera terestră.

În navigație, coordonatele geografice ale poziției navei se exprimă la precizie de 0'·1; *în situațiile în care coordonatele geografice sunt folosite ca elemente de calcul, se recomandă să fie notate cu semnele lor algebrice (+ sau -) și nu cu sensurile de contare (N, S, E, W), pentru a ușura efectuarea operațiunilor.*

3 Pozițiile reciproce a două puncte pe sfera terestră. Diferențe de coordonate

Pozițiile reciproce a două puncte pe sfera terestră se determină cu ajutorul diferențelor lor de coordonate: *diferența de latitudine* și *diferența de longitudine.*

Să considerăm că o navă merge de-a lungul meridianului locului, din punctul de plecare *A* (fig. 1-4) până în punctul de sosire *B*; se observă că longitudinea rămâne neschimbată pe tot parcursul, latitudinea însă se schimbă. Latitudinea punctului *B* este diferită de cea a punctului *A* – cu o cantitate egală cu măsura arcului $AB = \sphericalangle AOB$, care poartă denumirea de *diferență de latitudine.*

Diferența de latitudine poate fi definită deci ca fiind arcul de meridian sau unghiul la centru corespunzător, cuprins între paralelul punctului de plecare și paralelul punctului de sosire. Diferența de latitudine a două puncte se însemnă cu $\Delta\varphi$.

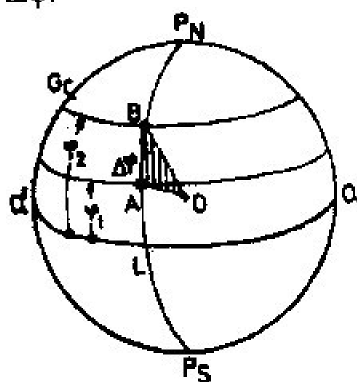


Fig. 1-4

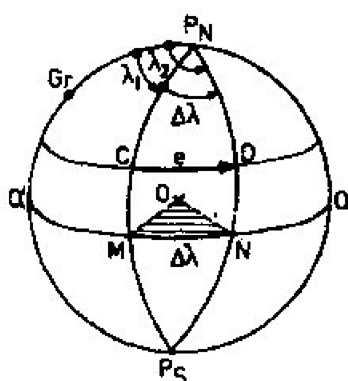


Fig. 1-5

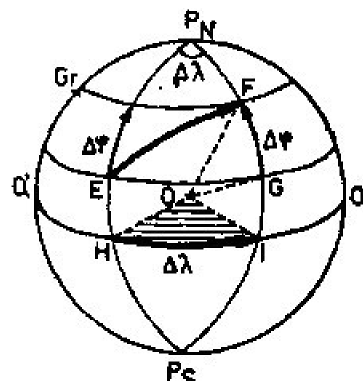


Fig. 1-6

Notând latitudinea punctului de plecare *A* cu φ_1 și a punctului de sosire *B* cu φ_2, rezultă că valoarea diferenței de latitudine $\Delta\varphi$ este dată de relația algebrică:

$$\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi \qquad (1\text{-}4)$$

Diferența de latitudine poate lua valori cuprinse între 0° și 180°, spre nord sau sud; diferența de latitudine ia valoarea de 180° când s-ar realiza deplasarea din Polul nord până în Polul sud sau invers.

Diferența de latitudine se consideră pozitivă sau nordică (și se notează cu + sau N), dacă nava – în raport cu paralelul locului, se deplasează spre Polul nord; diferența de latitudine se consideră negativă sau sudică (și se notează cu – sau *S*), dacă nava – în raport cu paralelul locului, se deplasează spre Polul sud. De exemplu:

$\Delta\varphi = +3°17'.4$ sau $\Delta\varphi = 3°17'.4N$

$\Delta\varphi = -4°23'.6$ sau $\Delta\varphi = 4°23'.6S$

Să considerăm acum că o navă se deplasează de-a lungul paralelului locului, din punctul de plecare *C* fig. (1-5) până în punctul de sosire *D*; se observă că latitudinea locului rămâne aceeași pe tot parcursul, longitudinea însă se schimbă. Longitudinea punctului *D* este diferită de cea a punctului *C* cu o cantitate egală cu măsura arcului $MN = \sphericalangle MON$, care poartă denumirea de *diferență de longitudine.*

Diferența de longitudine poate fi definită, deci, ca fiind arcul de ecuator sau unghiul la centru corespunzător, cuprins între meridianul punctului de plecare și meridianul punctului de sosire.

Diferența de longitudine mai poate fi definită ca unghiul sferic (la pol), format între meridianul punctului de plecare și meridianul punctului de sosire.

Diferența de longitudine se însemnă cu $\Delta\lambda$.

Notând longitudinea punctului de plecare C cu λ_1 și longitudinea punctului de sosire D cu λ_2, rezultă că valoarea diferenței de longitudine este dată de relația algebrică:

$$\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1 \tag{1-5}$$

Diferența de longitudine poate lua valori cuprinse între 0° și 180°, spre est sau spre vest.

Diferența de longitudine se consideră pozitivă sau estică (și se notează cu + sau E), dacă nava, în raport cu meridianul locului, se deplasează spre est; diferența de longitudine se consideră negativă sau vestică (și se notează cu – sau W), dacă nava, în raport cu meridianul locului, se deplasează spre vest.

De exemplu:

$\Delta\lambda = 4°32'.5$ sau $\Delta\lambda = 4°32'.5E$

$\Delta\lambda = -1°10'$ sau $\Delta\lambda = 1°10'W$

Este necesar să se sublinieze faptul că diferența de longitudune poate lua valori numai până la 180°; în cazul punctelor C și D (fig. 1-5) deci, diferența de longitudine este egală cu măsura arcului MN și nu cu cea a arcului $MQ'QN$.

În cazul când nava se deplasează între două puncte E și F (fig. 1-6) situate pe meridiane și paralele diferite, se realizează atât o diferență de latitudine $\Delta\varphi(=\overset{\frown}{GF} = \sphericalangle GOF)$, cât și o diferență de longitudine $\Delta\lambda(=\overset{\frown}{HI} = \sphericalangle HOI)$. Diferențele de coordonate $\Delta\varphi$ și $\Delta\lambda$, așa cum s-a arătat mai sus, se obțin scăzându-se algebric coordonatele punctului de plecare din coordonatele punctului de sosire.

În practica navigației, se pot pune două probleme în legătură cu pozițiile reciproce a două puncte pe suprafața Pământului și anume:

– determinarea diferenței de latitudine și a diferenței de longitudine, cunoscându-se coordonatele punctului de plecare și ale celui de sosire. Considerând punctul de plecare E (fig. 1-6) de coordonate cunoscute φ_1 și λ_1 și punctul F, de coordonate φ_2 și λ_2, diferențele de coordonate se obțin din relațiile (1-4) și (1-5):

$$\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$$

$$\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$$

– determinarea coordonatelor punctului de sosire, cunoscându-se coordonatele punctului de plecare și diferențele de coordonate. Considerând cunoscute coordonatele φ_1 și λ_1 ale punctului de plecare E (fig. 1-6) și diferențele de coordonate $\Delta\varphi$ și $\Delta\lambda$, realizate prin deplasarea navei, coordonatele φ_2 și λ_2 ale punctului de sosire F se obțin din relațiile algebrice:

$$\varphi_2 = \varphi_1 + \Delta\varphi \tag{1-6}$$

$$\lambda_2 = \lambda_1 + \Delta\lambda \tag{1-6'}$$

Exemplul 1. O navă pleacă din punctul *A* de coordonate $\varphi_1 = +44°28'$; $\lambda_1 = +30°10'$ și sosește în punctul *B* de coorodonate $\varphi_2 = +43°22'$; $\lambda_2 = +31°35'.5$. Se cer diferențele de coordonate $\Delta\varphi$ și $\Delta\lambda$.

Rezolvare:

$$\begin{array}{r} \varphi_2 = +43°22' \\ -\varphi_1 = +44°28' \\ \hline \Delta\varphi = -1°06' \end{array} \qquad \begin{array}{r} \lambda_2 = +31°35'.5 \\ -\lambda_1 = +30°10'.0 \\ \hline \Delta\lambda = +1°25'.5 \end{array}$$

Exemplul 2. O navă pleacă din punctul *C* de coordonate $\varphi_1 = +42°12'$; $\lambda_1 = +31°31'$ și realizează o diferență de latitudine $\Delta\varphi = +2°21'$ și o diferență de longitudine $\Delta\lambda = -1°18'$. Să se calculeze coordonatele punctului de sosire φ_2 și λ_2.

Rezolvare:

$$\begin{array}{r} \varphi_1 = +42°12' \\ +\Delta\varphi = +\ 2°21' \\ \hline \varphi_2 = +44°33' \end{array} \qquad \begin{array}{r} \lambda_1 = +31°31' \\ \Delta\lambda = -\ 1°18' \\ \hline \lambda_2 = +30°13' \end{array}$$

§3 Determinarea poziției unui punct pe elipsoidul terestru. Coordonate geodezice

Poziția unui punct pe elipsoidul terestru în sistemul de coordonate geodezice, în mod analog cu sistemul de coordonate geografice sferice, se determină cu ajutorul *longitudinii* și *latitudinii*. În figura 1-7, considerăm punctul *A* și normala *ZA* la suprafața elipsoidului terestru în *A*.

Longitudinea geodezică (λ) se definește la fel ca în cazul sferei terestre, ca arcul de ecuator terestru sau unghiul la centru corespunzător, măsurat de la meridianul Greenwich spre est sau spre vest până la meridianul locului (fig. 1-7). Longitudinea punctului *A*, de exemplu, este $\overset{\frown}{MQ} = \sphericalangle MOQ$.

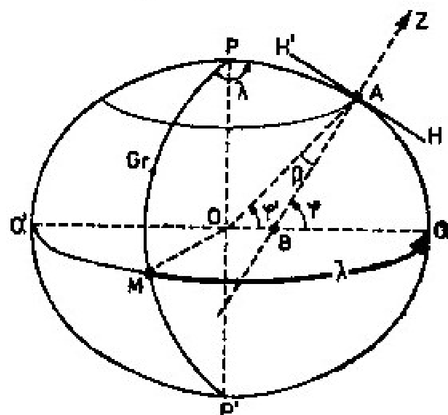


Fig. 1-7

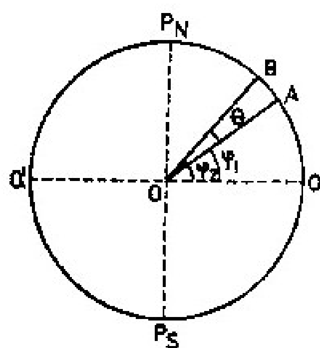


Fig. 1-8

Latitudinea geodezică (φ) este unghiul dintre normala la elipsoidul terestru în punctul considerat *A* cu planul ecuatorului terestru; latitudinea geodezică a punctului *A* este $\sphericalangle ABQ$. Latitudinii geodezice i se dă sensul N *(S)*, respectiv semnul + (-), ca în cazul latitudinii geografice sferice.

Normala la elipsoidul terestru într-un punct dat face un anumit unghi cu verticala locului (direcția firului cu plumb), de valoare redusă, care poartă denumirea de *deviația verticalei în planul meridianului.*

Unghiul fiind de o valoare redusă, pentru simplificarea prezentării acestor noțiuni, se consideră că cele două direcții – normala cu verticala locului, se confundă.

Verticala locului nu trece prin centrul elipsoidului, așa cum se consideră în cazul sferei terestre. Unghiul format între direcția la centrul elipsoidului terestru (*OA*) și planul ecuatorului se numește *latitudine geocentrică* (φ'); latitudinea geocentrică a punctului *A* este $\sphericalangle AOQ$.

Unghiul *BAO* pe care îl face verticala locului (considerată confundându-se cu normala) cu direcția la centrul elipsoidului terestru se numește *unghiul verticalei* (β) sau *unghiul de reducere la centrul Pământului*. Din figura 1-7 se observă că:

$$\varphi = \varphi' + \beta$$

Valoarea aproximativă în funcție de latitudine a *unghiului verticalei* este dată de relația:

$$\beta = 11'35''.7 \sin 2\varphi$$

având valoarea maximă de 11'35".7 la latitudinea de 45°.

§4 Determinarea formei și dimensiunilor elipsoidului terestru

Dacă Pământul se consideră sferic, raza sferei terestre (*R*) se poate determina astfel (fig. 1-8):

– se aleg două puncte apropiate *A* și *B* situate pe același meridian și se măsoară distanța între ele $AB = d$;

– se determină unghiul θ format la centrul Pământului între verticalele celor două locuri ($\sphericalangle AOB$). Se observă că acest unghi este egal cu diferența latitudinilor celor două locuri: $\theta = \varphi_2 - \varphi_1$;

– raza sferei terestre *R* se obține din relația:

$$R = \frac{d}{\varphi_{12} - \varphi_1} \quad (1\text{-}7)$$

Cunoscându-se raza, sfera terestră se consideră determinată.

Acesta a fost principiul procedeului folosit pentru determinarea mărimii sferei terestre de către învățatul grec al școlii din Alexandria, Eratostene, principiu care și-a păstrat valoarea până în zilele noastre. În anul 240 î.e.n., cu toată simplitatea mijloacelor folosite pentru stabilirea mărimilor care intră în calcul, Eratostene a reușit să determine raza sferei terestre la valoarea de 6450 km, foarte apropiată de cea reală.

Mărimea unghiului · se calculează prin procedee astronomice, din diferența latitudinilor celor două locuri, determinate din înălțimile meridiane sau circum-meridiane ale unui astru (vezi cap. 22); mai simplu, unghiul ≡ poate fi obținut din diferența distanțelor zenitale sau a înălțimilor aceluiași astru, măsurate simultan în puntele *A* și *B*, în momentul culminației.

Lungimea arcului de meridian *AB* s-a determinat cu mijloace rudimentare până în secolul al XVII-lea, când învățatul olandez W. Snellius a fundamentat *metoda*

triangulației. După introducerea acestei metode, precizia rezultatelor s-a mărit considerabil și la scurt timp s-a ajuns la concluzia că lungimea arcului de meridian crește cu latitudinea, că Pământul are o formă apropiată de cea a unui elipsoid de revoluție.

· Principiul determinării elipsei terestre, care caracterizează elipsoidului terestru, este întru totul analog cu cel folosit în cazul sferei terestre.

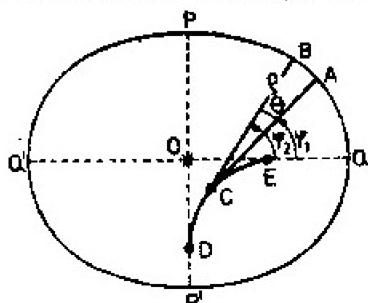


Fig. 1-9

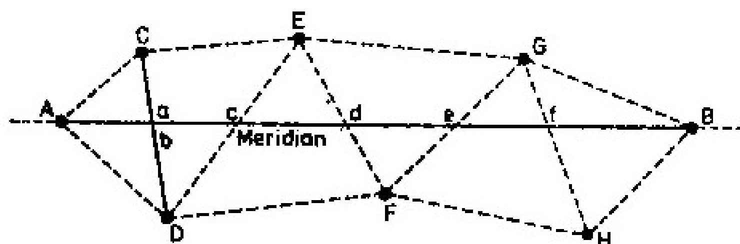


Fig. 1-10

Considerăm pe elipsoidul terestru două puncte apropiate A și B, pe același meridian (fig. 1-9); normalele la elipsoidul terestru în cele două locuri A și B se întâlnesc în punctul C. Arcul eliptic de meridian AB fiind mic, se poate considera confundându-se cu un arc de cerc a cărui rază este egală cu *raza de curbură* $CA = CB$. Prin analogie cu relația (1-7) pentru determinarea razei sferei terestre R, *raza de curbură* ρ a unui arc mic de meridian eliptic se obține din relația:

$$\rho = \frac{d}{\varphi_2 - \varphi_1} \tag{1-8}$$

unde d este lungimea arcului de meridian AB, φ_2 latitudinea geodezică a punctului B și φ_1 latitudinea geodezică a punctului A.

Rezultă că pentru determinarea razei de curbură într-un punct al meridianului eliptic (cuprins pe arcul AB) este necesar să se cunoască:

– măsura arcului de meridian AB;

– latitudinea locurilor (A și B), care delimitează arcul de meridian.

Latitudinile φ_2 și φ_1 se determină prin procedee astronomice, similare ca relații de calcul celor prezentate în capitolul 22.

Măsura unui arc mic de meridian eliptic se obține prin *metoda triangulației*, fundamentată așa cum s-a arătat mai sus de către W. Snellius. Principiul triangulației aplicat pentru determinarea lungimii arcului de meridian eliptic AB este următorul (fig. 1-10):

– se stabilesc punctele A și B de-a lungul aceluiași meridian:

– se măsoară cât mai precis posibil distanța b dintre două obiecte vizibile C și D, care intersectează meridianul considerat, denumită "*baza*" triangulației;

– se alege un număr de obiecte vizibile E, F, ..., H, care constituie vârfurile triunghiulare, destinate a forma sistemul care leagă punctele A și B ;

– cu un *teodolit* sau cu un *cerc azimutal,* se măsoară unghiurile triunghiului ACD ș.a.m.d., până la ultimul triunghi al sistemului, GHB ;

– cu ajutorul *bazei b* și a unghiurilor triunghiului ACD, se determină lungimea celorlalte două laturi AC și AD ale acestui triunghi. Procedând în mod analog, din aproape în aproape, se determină laturile tuturor triunghiurilor sistemului: DEC, ..., GHB;

– se determină direcţia meridianului, de exemplu cu ajutorul unghiului *aAD* (sau *aAC*), ceea ce permite rezolvarea triunghiului *ADa* (sau *ACa*). Procedând în mod analog, se rezolvă triunghiurile parţiale *aDc, cEd, ..., fHB*.

Măsura arcului de meridian eliptic *AB* este deci:

$$AB = Aa + ac + cd + de + ef + fB$$

Cunoscându-se măsura arcului eliptic de meridian *AB* şi latitudinile celor două puncte *A* şi*B*, se poate calcula raza de curbură a arcului mic *AB*.

Măsura razei de curbură de-a lungul unui întreg meridian eliptic terestru indică următoarele:

– *raza de curbură creşte de la ecuator la poli.* Raza de curbură, în funcţie de elementele elipsoidului terestru şi latitudine, este dată de relaţia:

$$\rho = a(1 - 2\alpha + 3\alpha\sin^2\varphi) \qquad (1\text{-}9)$$

Sau de formula aproximativă:

$$\rho = \frac{a+b}{2} - 3\frac{a-b}{2}\cos 2\varphi \qquad (1\text{-}10)$$

Raza de curbură ia deci valori cuprinse între:

$$\rho_1 = \frac{a+b}{2} - 3\frac{a-b}{2} \quad \text{când } \varphi = 0^\circ \text{ (la ecuator); şi:}$$

$$\rho_2 = \frac{a+b}{2} + 3\frac{a-b}{2} \quad \text{când } \varphi = 90^\circ \text{ (la poli).}$$

Ştiindu-se că măsura arcului unitar creşte cu raza, *rezultă că lungimea arcului unitar de meridian creşte cu latitudinea, de la ecuator spre poli*;

– locul centrelor de curbură *C* ale meridianului eliptic *QABP* este curba *ECD*.

Dacă se efectuează aceleaşi măsurători pentru toate meridianele elipsoidului terestru se obţin aceleaşi rezultate, elipsa meridiană fiind deci aceeaşi pentru toate longitudinile.

Metoda expusă mai sus pentru determinarea elipsei meridiane poartă denumirea de *metoda arcelor*; în ultima perioadă, în geodezie, *metoda arcelor* a fost înlocuită cu *metoda ariilor*, fundamentată de către *Hayford*.

Măsurătorile şi calculele efectuate au condus la stabilirea elementelor care definesc elipsoidul terestru; în tabelul 1-1 au fost prezentate rezultatele principale ale acestor lucrări.

§5 Lungimea arcului de meridian de 1′

1 Lungimea arcului de meridian eliptic de 1′ funcţie de raza de curbură şi latitudine

Considerăm un arc mic de meridian eliptic AB (fig. 1-9); normalele la elipsoidul terestru în punctele *A* şi *B se întâlnesc în centrul de curbură* C. Arcul eliptic *AB* fiind mic, se poate considera că se confundă cu un arc de cerc cu centrul în *C*, de rază egală cu raza de curbură $\rho = CA = CB$.

Lungimea arcului AB (considerat ca arc de cerc) este dată de relația:

$$\text{arc } AB = \rho \cdot \sphericalangle ACB$$

Considerând $\sphericalangle ACB = 1'$ și arc AB = S se poate scrie:

$$S = \rho \sin 1' = \rho \frac{1}{\text{cosec } 1'} = \rho \frac{1}{3437.75}$$

Introducând în relația (1-10) care îl exprimă pe ρ :

$$S = \frac{1}{3437.75}\left(\frac{a+b}{2} - 3\frac{a-b}{2}\cos 2\varphi\right)$$

și dând lui a și b valorile elipsoidului internațional, se obține:

$$S = 1852.3 - 9.3 \cos 2\varphi \qquad (1\text{-}11)$$

2 Lungimea arcului de meridian de 1′ funcție de excentricitatea elipsoidului terestru și latitudine

Pentru a stabili relația care exprimă lungimea arcului de meridian de 1′, funcție de excentricitatea elipsoidului terestru și latitudine, trebuie mai întâi să stabilim ecuații care dau abscisa și ordonata unui punct oarecare situat pe meridianul eliptic, în raport cu un sistem de axe rectangulare ce se confundă cu axele elipsei meridiane.

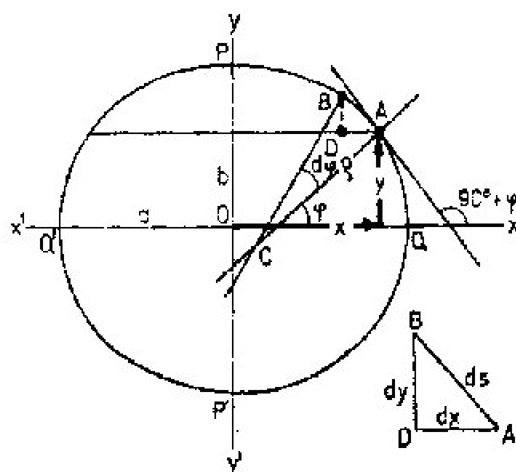


Fig. 1-11

Considerăm secțiunea meridiană $PQP'Q'$ în elipsoidul terestru și punctul A de latitudine φ, situat pe meridianul PQP' (fig. 1-11).

Ecuația canonică a elipsei este:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$$

Diferențiind această ecuație în funcție de x și y – se obține:

$$\frac{x \cdot dx}{a^2} + \frac{y \cdot dy}{b^2} = 0 \text{ sau: } \frac{b^2}{a^2} + \frac{y \cdot dy}{x \cdot dx} = 0$$

Înmulțind cu $\frac{x}{y}$ și simplificând, se obține:

$$\frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}x} = -\frac{b^2}{a^2} \cdot \frac{x}{y}$$

Tangenta unghiului (90° + φ), format între tangenta geometrică în punctul A al elipsei cu axa x-ilor, ținând seama de interpretarea geometrică a diferențialei unei funcții – este egală cu raportul $\frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}x}$; deci:

$$\frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}x} = \mathrm{tg}(90°+\varphi) = -\mathrm{ctg}\varphi = -\frac{b^2}{a^2} \cdot \frac{x}{y}$$

Din ultima egalitate reiese că:

$$y = \frac{b^2}{a^2}\, x\, \mathrm{tg}\, \varphi \qquad (1\text{-}12)$$

Introducând valoarea lui y, dată de egalitatea (1-12), în ecuația elipsei, se obține:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{b^4}{a^4} x^2 \mathrm{tg}^2\varphi = 1 \qquad (1\text{-}13)$$

Din formula excentricității elipsei $e^2 = \frac{a - b^2}{a^2}$ se obține:

$$b^2 = a^2\,(1 - e^2)$$

Introducând ultima egalitate în formula (1-13) rezultă:

$$x^2 + (1 - e^2)\, x^2 \mathrm{tg}^2\varphi = a^2$$

sau:

$$x^2 + x^2 \mathrm{tg}^2\varphi - e^2 x^2 \mathrm{tg}^2\varphi = a^2$$

Dând factor comun pe x^2:

$$x^2(1 + \mathrm{tg}^2\varphi - e^2\, \mathrm{tg}^2\, \varphi) = a^2.$$

Știind că: $1 + \mathrm{tg}^2\varphi = \sec^2\varphi$, rezultă că:

$$x^2\,(\sec^2\varphi - e^2\, \mathrm{tg}^2\varphi) = a^2$$

sau:

$$x^2(1 - e^2 \sin^2\varphi) = a^2 \cos^2\varphi$$

De unde:

$$x = \frac{a \cos\varphi}{\sqrt{1 - e^2 \sin\varphi}}$$

Înlocuind valoarea lui x în formula (1-12), se obține:

$$y = \frac{b^2 a \cos\varphi}{a^2 \sqrt{1 - e^2 \sin^2\varphi}} \cdot \mathrm{tg}\varphi \qquad (1\text{-}15)$$

Ecuațiile (1-14) și (1-15) dau abscisa și respectiv ordonata unui punct oarecare pe meridianul eliptic, în funcție de latitudine și excentricitatea elipsoidului terestru.

Trecem acum să stabilim ecuația razei de curbură (ρ) a punctului A, în funcție de latitudinea punctului și de excentricitatea elipsoidului terestru.

Considerăm arcul $AB = dS$, care reprezintă arcul de meridian corespunzător creșterii $d\varphi$ a latitudinii.

Arcul eliptic AB fiind mic, poate fi considerat egal cu un arc de cerc cu centrul în C, de rază egală cu raza de curbură $AC = \rho$.

Lungimea arcului AB (ca arc de cerc) este egală cu măsura unghiului la centru corespunzător înmulțită cu raza:

$$\widehat{AB} = dS = \rho \cdot d\varphi$$

Se duc prin punctele A și B – paralele la axele xx' și yy'; din triunghiul dreptunghic ABD (considerăm $AD = dx$ și $BD = dy$) se obține:

$$dS = \sqrt{dx^2 + dy^2} = dx\sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2}$$

Însă:

$$\frac{dy}{dx} = -\text{ctg}\varphi$$

deci:

$$dS = dx\sqrt{1 + ctg^2\varphi} = dx\sqrt{\cos ec^2\varphi} = dx \cos ec\varphi$$

Din cele două egalități care exprimă pe dS rezultă:

$$\rho \cdot d\varphi = dx \text{ cosec } \varphi$$

sau:

$$\rho = \frac{dx}{d\varphi}\text{cosec}\varphi.$$

Diferențiind expresia (1-14) în funcție de x și φ se obține:

$$\frac{dx}{d\varphi} = \frac{-a\sin\varphi(1 - e^2\sin^2\varphi)^{\frac{1}{2}} + a\cos\varphi\frac{1}{2}(1 - e^2\sin^2\varphi)^{-\frac{1}{2}}2e^2\sin\varphi\cos\varphi}{1 - e^2\sin^2\varphi}$$

Înmulțind atât numărătorul cât și numitorul cu $(1 - e^2\sin^2\varphi)^{\frac{1}{2}}$, după simplificarea expresiei, rezultă:

$$\frac{dx}{d\varphi} = -\frac{a(1 - e^2)\sin\varphi}{(1 - e^2\sin^2\varphi)^{\frac{3}{2}}} = \frac{\rho}{\text{cosec}\varphi} = \rho\sin\varphi$$

de unde raza de curbură a arcului AB este dată de expresia:

$$\rho = \frac{a(1 - e^2)}{(1 - e^2\sin^2\varphi)^{\frac{3}{2}}} \quad (1\text{-}16)$$

S-a neglijat semnul minus al egalității (1-16), deoarece interesează valoarea absolută a razei de curbură a arcului *AB*.

Considerând ∢ $ACB = 1'$, lungimea *S* a arcului corespunzător *AB* este dată de relația:

$$S = \rho \sin 1' \text{ .... sau: } S = \frac{a(1-e^2)}{(1-e^2\sin^2\varphi)^{\frac{3}{2}}}\sin 1'$$

Transformând în continuare ultima egalitate și dezvoltând în serie binomială, se obține:

$$S = a(1-e^2)(1-e^2\sin^2\varphi)^{-\frac{3}{2}}\sin 1' = a(1-e^2)\left(1+\frac{3}{2}e^2\sin^2\varphi\right)\sin 1' =$$

$$= a\left(1-e^2+\frac{3}{2}e^2\sin^2\varphi\right)\sin 1'$$

Ultima egalitate mai poate fi scrisă și sub forma:

$$S = a\left(1-\frac{1}{4}e^2-\frac{3}{4}e^2+\frac{3\cdot 2}{4}e^2\sin^2\varphi\right)\sin 1'$$

sau:

$$S = a\left[1-\frac{1}{4}e^2-\frac{3}{4}e^2(1-2\sin^2\varphi)\right]\sin 1'.$$

Știind însă că $(1\text{-}2\sin^2\varphi) = \cos 2\varphi$, ultima egalitate ia forma:

$$S = a\left(1-\frac{1}{4}e^2-\frac{3}{4}e^2\cos 2\varphi\right)\sin 1'$$

sau:

$$S = a\left[1-\frac{1}{4}e^2(1+3\cos 2\varphi)\right]\sin 1' \qquad (1\text{-}17)$$

Dând lui *a* și *e*, din ultima expresie, valorile elipsoidului internațional, lungimea arcului de meridian de 1′ în funcție de latitudine este dată de egalitatea:

$$S = 1\,852.3 - 9.3\cos 2\varphi \qquad (1\text{-}18)$$

Se observă că formulele (1-11) și (1-18) sunt identice.

Dând latitudinii valori din 15° în 15°, pe baza formulei (1-18) se obțin următoarele mărimi pentru lungimea arcului de meridian de 1′ (Tabelul 1-2):

Latitudinea	Lungimea arcului de meridian de 1′ în metri
0°	1843.0
15°	1844.2
30°	1847.6
45°	1852.3
60°	1856.9
75°	1860.4
90°	1861.6

Limitele între care variază deci lungimea arcului de meridian eliptic de 1′ sunt cuprinse între 1843m (pentru $\varphi = 0°$) și 1861.6m (pentru $\varphi = 90°$), diferența fiind de 18.6 m.

§6 Unități de măsură folosite în navigație

1 Unități de lungime deduse din măsurători geodezice

A *Metrul*

Metrul este unitatea de măsură pentru spațiu care reprezintă 1/10 000 000 din lungimea cadranului de meridian terestru.

Sistemul metric a fost creat în anul 1795; în urma măsurătorilor efectuate în acea perioadă s-a stabilit lungimea metrului și s-a construit așa-numitul *metru etalon*, care a fost adoptat ca unitate de măsură de către *Conferința internațională de măsuri și greutăți* ținută la Paris în anul 1899. La începutul secolului al XX-lea, *metrul etalon* a fost înlocuit cu *prototipul internațional din platină*, de forma unei bare, depus la pavilionul de măsuri și greutăți din Sevres și denumit *metru legal*.

Metrul legal este definit ca lungimea prototipului internațional din platină la temperatura de 0°C.

Măsurătorile și calculele geodezice efectuate ulterior au stabilit că metrul legal nu corespunde cu rigurozitate raportului arătat față de lungimea meridianului eliptic; astfel, lungimea metrului legal este mai mică cu 0,23 mm față de 1/10 000 000 parte a cadranului meridianului eliptic al elipsoidului internațional de referință. Pentru a nu se modifica întreg sistemul metric, cu multiplii și submultiplii lui, în scopul de a-l pune mereu de acord cu noile rezultate obținute de geodezie privind lungimea meridianului terestru, s-a hotărât să se mențină *metrul legal* adoptat de conferința internațională amintită.

În documentația de navigație românească, precum și în cea aparținând celorlalte state europene, cu excepția celei engleze și irlandeze, metrul este folosit pentru a indica adâncimea apei și înălțimea reperelor de navigație.

De asemenea, metrul constutie unitatea de măsură de referință pentru toate celelalte unități de măsură specifice navigației, precum și pentru sistemul anglo-saxon.

B *Mila marină (nautical mile)*

Mila marină (Mm) este lungimea arcului de meridian terestru la latitudinea de 45°. Este folosită în navigație pentru măsurarea distanțelor.

Așa cum s-a arătat la §5 formula (1-11), respectiv (1-18), lungimea arcului (S) de meridian de 1′ variază în funcție de latitudinea elipsoidului terestru

$$S = 1852.3 - 9.3 \cos 2\varphi,$$

între 1843 m la ecuator și 1861.6 m la poli. Lungimea arcului de meridian terestru la latitudinea de 45° este de 1852.3 m.

Conferința hidrografică internațională din anul 1929 a adoptat lungimea milei marine de 1852 m; această valoare reprezintă lungimea la precizie de metru a arcului de meridian terestru la latitudinea de 45°.

Valoarea de 1852 m a milei marine reprezintă, de asemenea, lungimea la precizie de metru a arcului de meridian de 1′ al sferei terestre, dată de expresia:

$$1\ \text{Mm} = \frac{2\pi R}{360°\cdot 60'} = \frac{2\pi\sqrt[3]{a^2 b}}{360°\cdot 60'} = 1852.3\ \text{m}$$

în care a și b sunt egale cu valorile semiaxelor elipsoidului internațional. Lungimea arcului de meridian de 1' pe sfera terestră este constantă, indiferent de latitudine și este egală cu lungimea oricărui arc de cerc mare de aceeași măsură.

Țara noastră, ca și o serie de alte state europene, între care fostele republici ale Uniunii Sovietice, Franța, Germania Spania și Suedia, au adoptat lungimea milei marine recomandată de conferința internațională, de 1852 m.

În marina engleză, mila marină se consideră egală cu lungimea arcului de meridian de 1′ la latitudinea la care se află nava; pentru o navă care navigă în apele Marii Britanii, mila marină se consideră egală cu 1853.182 m, reprezentând lungimea arcului de meridian terestru de 1′ la latitudinea de 48°.

În S.U.A., mila marină se consideră egală cu 1 853.248 m, reprezentând lungimea arcului de meridian de 1′ al sferei terestre, de o suprafață egală cu cea a elipsoidului terestru.

În Italia, Danemarca și Olanda, mila marină are valoarea egală cu 1851.85 m, reprezentând lungimea unui arc de 1′ din cadranul de meridian considerat de 10 000 000 m; deci:

$$1\ \text{Mm} = \frac{10000000\ \text{m}}{90°\times 60'} = 1851.85\ \text{m}$$

Diferențele între măsurile milei marine adoptate în diferitele țări, așa cum s-a arătat mai sus, sunt neglijabile în practica navigației.

Mila marină are un submultiplu și un multiplu, astfel:

– *cablul* = 1/10 din mila marină = 185.2 m;

– *leghea marină* = 3 mile marine = 5 556 m, unitate de măsură care nu se mai utilizează în navigație.

Observații:

Noțiunea de *milă*, ca unitate de măsură pentru distanțe, se mai exprimă și în alte, forme, între care principalele sunt:

a – mila ecuatorială, egală cu lungimea arcului (*Se*) de ecuator de 1′ a elipsoidului terestru. Știind că raza ecuatorului este egală cu semiaxa mare a elipsoidului terestru, lungimea milei ecuatoriale este dată de relația:

$$Se = a\cdot\sin 1' = \frac{a}{\text{cosec}\ 1'} = \frac{a}{3437.75} = 1855.39\ \text{m}$$

Mila ecuatorială corespunde lungimii arcului de meridian eliptic de 1′ la latitudinea de aproximativ 55°.

b – mila statuară (statute mile), unitate de măsură utilizată în Anglia și S.U.A., care nu are nici o relație cu dimensiunile Pământului; se folosește pentru măsurarea distanțelor la uscat. Are lungimea de 1 609.343 m = 5 280 picioare.

2 Unităţi de lungime anglo-saxone folosite în navigaţie

Cu excepţia *milei marine*, explicată mai sus, unităţile de lungime folosite în documentaţia de navigaţie engleză aflată în uz şi la bordul navelor noastre maritime comerciale constituie obiectul unor definiţii convenţionale, fără a avea raporturi determinate cu dimensiunile Pământului.

În Anglia, unitatea de referinţă este *yardul (yard)* = 0.914 m. *Yardul* este distanţa între două semne de aur, marcate pe o bară de bronz, la temperatura de 62°F (=12°2/3 C), denumită „Imperial Standard Yard".

Yardul are cinci multipli şi cinci submultipli, între care în navigaţie prezintă importanţă doar următorii:

– *piciorul (foot, feet)* = 0.3048 m, reprezentând 1/3 dintr-un yard;

– *inci (inch, inches)* = 0.0254 m = 25.4 mm, egal cu 1/12 dintr-un picior, respectiv 1/36 dintr-un yard.

Pescajul prova (*Tpv*) al unei nave, de exemplu, de 23 picioare şi 6 inci se notează astfel:

$$Tpv = 23'06'',$$

folosind deci semnele pentru minutul şi secunda de arc;

– *braţul (fathom)* = 1.83 m, egal cu 2 yarzi, respectiv cu 6 picioare. Braţul se foloseşte la exprimarea adâncimii apei în hărţile marine. Braţul este aproximativ 1/1000 parte dintr-o milă marină;

– *cablul, (cable)* = 183 m, egal cu 100 braţe, 200 yarzi, respectiv 600 picioare. Are valoarea apropiată de cablul definit mai sus, ca submultiplu al milei marine, de 1/10 parte din mila marină (= 185.2 m).

Tablele Nautice folosite la bordul navelor conţin diferite table pentru transformarea unităţilor de măsură din sistemul metric în sistemul englez şi invers.

Astfel, *Tablele Nautice MT – 53* oferă posibilitatea următoarelor transformări:

– *Tablele 41 a* şi *41 b*, pentru transformarea lungimilor din mile marine în kilometri şi invers;

– *Tablele 43 a*, pentru transformarea măsurilor din picioare (*feet*) în metri şi invers;

– *Tablele 43 b*, pentru transformarea măsurilor din braţe (*fathoms*) în metri şi invers.

3 Unităţi de măsură a vitezei navei

Nodul (knot) este unitatea de măsură pentru viteza navei. Se spune că o navă merge cu viteza de un *nod* (Nd), atunci când parcurge distanţa de o milă marină în timp de o oră;deci 1 Nd = 1 Mm/h.

În rezolvarea diferitelor probleme de navigaţie se pune deseori problema transformării vitezei navei din noduri, în metri pe secundă sau cabluri pe minut şi invers.

Transformarea nodurilor în metri pe secundă şi invers. O navă care merge cu viteza de 1 Nd parcurge 0.514 m/s sau aproximativ 0.5 m/s, deci:

$$n(\text{Nd}) = n(\text{Mm/h}) = n\,0.514\,(\text{m/s}) \simeq \frac{n}{2}(\text{m/s}).$$

Rezultă că pentru a transforma viteza navei din noduri în metri pe secundă, se împarte numărul nodurilor la doi. Invers, pentru a transforma viteza dim m/s în noduri, se înmulţeşte viteza în m/s cu doi.

Aproximaţia operaţiei satisface nevoile practice ale navigaţiei pentru cazurile în care se aplică.

Exemplu:

$$V_1 = 16 \text{ Nd} \simeq 8 \text{ m/s}$$

$$V_2 = 6.5 \text{ m/s} \simeq 13 \text{ Nd}$$

Transformarea nodurilor în cabluri pe minut (cab./min.) şi invers. O navă care merge cu viteza de n (Nd) $= n$ (MM/h) parcurge $10 \cdot n$ cabluri pe oră (considerând cablul = 1/10 din mila marină), deci:

$$n(\text{Nd}) = n(\text{Mm/h}) = 10n(\text{cab./h}) = \frac{10n}{60}(\text{cab./min}) = \frac{n}{6}(\text{cab./min}) \ldots\ldots (1\text{-}19)$$

Rezultă că pentru a transforma viteza navei din noduri în cabluri pe minut, se împarte numărul nodurilor la şase. Invers, pentru a transforma viteza navei din cabluri pe minut în noduri, se înmulţeşte viteza în cabluri pe minut cu şase.

Exemplu:

$$V_1 = 18 \text{ Nd} = 3 \text{ cab./min.}$$
$$V_2 = 2 \text{ cab./min.} = 12 \text{ Nd.}$$

§7 Proiecţia elipsoidului pe sfera terestră

Considerăm elipsoidul şi sfera terestră concentrice, având axele polilor şi planele ecuatoriale comune (fig. 1-12). Pe elipsoidul terestru se consideră un punct A, având longitudinea geodezică λA şi latitudinea geodezică φA, verticala locului ZA confundându-se cu normala la suprafaţa elipsoidului în punctul A.

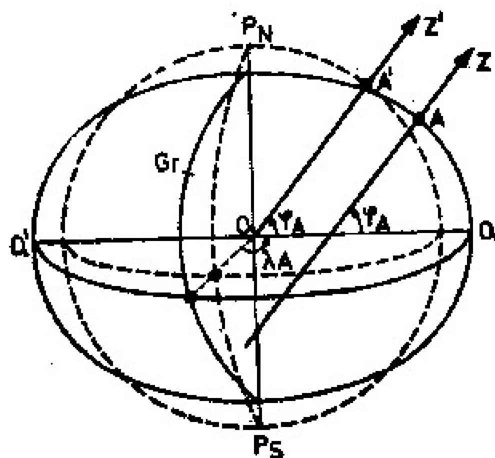


Fig. 1-12

Se adoptă ca imagine a punctului A pe sfera terestră un punct A' care este conţinut în planul elipsei meridiane a locului A şi a cărei verticală $Z'A'$ este paralelă cu verticala locului A.

Acest mod de proiectare, făcută în scopul substituirii elipsoidului cu sfera terestră, necesară în navigație, cartografie etc. prezintă următoarele proprietăți:

– axa polilor și planul ecuatorului sunt elemente de referință comune, atât pentru elipsoid, cât și pentru sfera terestră;

– meridianul punctului A de pe elipsoid și meridianul proiecției acestui punct A' pe sfera terestră sunt conținute în același plan.

Ca urmare, unghiurile diedre formate între elipsele meridiane ale diferitelor puncte de pe elipsoid sunt egale cu unghiurile diedre ale meridianelor care conțin proiecțiile acestor puncte pe sfera terestră.

În consecință, se pot conclude următoarele:

– valoarea coordonatelor unui punct oarecare de pe Pământ se menține aceeași pe ambele suprafețe de reprezentare, atât pe elipsoid, cât și pe sfera terestră;

– unghiurile și distanțele sunt ușor deformate, când se trece de pe elipsoid pe sferă și invers. Aceste deformații sunt însă practic neînsemnate, deoarece turtirea elipsoidului este mică. Înlocuirea elipsoidului terestru prin sfera terestră poate determina erori maxime de $11'.6$ pentru mărimile unghiulare și de 1/200 din spațiu pentru mărimile liniare;

– pe elipsoidul terestru, lungimea arcului de meridian de $1'$ variază între 1 843 m la ecuator și 1861.6 m la poli. Lungimea arcului de meridian de $1'$, ca dealtfel a oricărui minut de arc de cerc mare pe sfera terestră, este constantă și are valoarea de 1 852 m, ceea ce reprezintă lungimea arcului de meridian eliptic la latitudinea de aproximativ 45°. Prin substituirea elipsoidului cu sfera, folosirea lungimii milei marine reprezentând lungimea de cerc mare de $1'$ nu afectează precizia navigației, diferențele fiind practic neglijabile.

Cele arătate mai sus justifică pe deplin utilizarea sferei terestre pentru reprezentarea globului pământesc în rezolvarea problemelor de navigație. În cartografie, unde se solicită o precizie superioară, se aplică de cele mai multe ori principiul dublei proiecții; acest principiu constă din proiectarea elipsoidului pe sferă, ceea ce dă naștere la mici *deformații* care se pot calcula, apoi se proiectează sfera pe un plan, în scopul întocmirii hărților.

2 ORIENTAREA PE MARE

§1 Linii şi plane principale ale observatorului pe sfera terestră

Considerăm un observator situat în punctul *A* pe meridianul $P_NQ'P_S$ al sferei terestre, având latitudinea *Q'A* (fig. 2-1).

Direcţia care uneşte punctul observatorului cu centrul sferei terestre este verticala locului *(AO)*; verticala locului este materializată de firul cu plumb, liber suspendat sub acţiunea gravitaţiei Pământului.

Verticala locului prelungită la infinit înţeapă sfera cerească în două puncte: *zenitul (Z)*, deasupra creştetului observatorului şi *nadirul (Na)*, în sens opus. De aceea, direcţia verticalei locului mai este denumită şi *linia zenit-nadir*.

Planele care conţin verticala locului se numesc *plane verticale* sau *verticale*. Verticalul care conţine axa polilor tereştri se numeşte *planul meridianului adevărat al locului*; intersecţia acestui plan cu sfera terestră determină un cerc mare, denumit *meridianul adevărat al locului* sau *meridianul locului* ($P_NQ'P_S$).

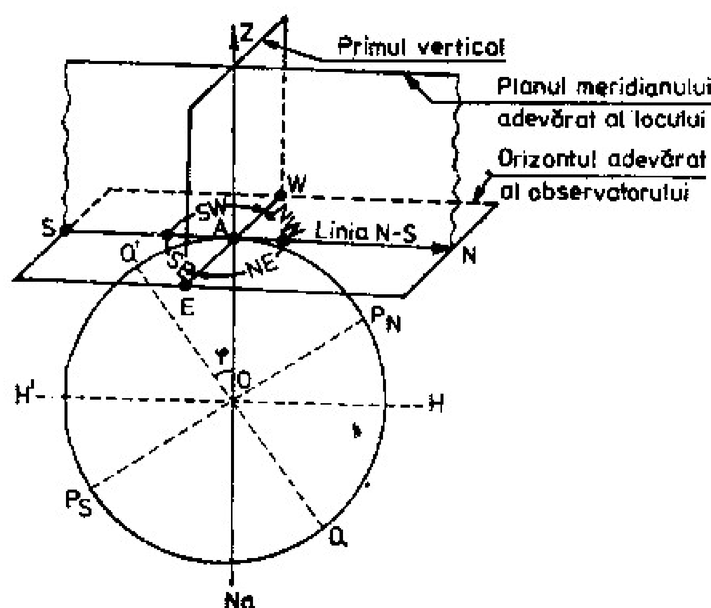


Fig. 2-1

Verticalul perpendicular pe planul meridianului locului se numeşte *primvertical*.

Orice plan perpendicular pe verticala locului se numeşte *orizont*. Planul orizontal care trece prin ochiul observatorului *A* se numeşte *orizont adevărat* al observatorului.

Planul orizontal care trece prin centrul sferei terestre se numește *orizont astronomic* (HH').

Dreapta de intersecție dintre planul meridianului locului cu planul orizontului adevărat al observatorului se numește *linia nord-sud* (N-S). Sensul nordic al acestei linii este determinat de direcția Polului nord în raport cu poziția observatorului. Direcția *AN* mai este denumită și direcția *nord adevărat*, referindu-se la faptul că este determinată de planul meridianului adevărat al observatorului; în acest caz, punctul cardinal nord este notat prin *Na*.

Dreapta de intersecție dintre planul orizontului adevărat al observatorului cu primul vertical se numește *linia est-vest* (E-W). Sensurile estic și vestic ale acestei linii se stabilesc astfel: considerându-ne în punctul *A* cu fața spre nord, sensul estic este spre dreapta, iar cel vestic spre stânga.

Liniile N-S și E-W se numesc *linii* sau *direcții cardinale*.

Liniile cardinale sunt determinate în orice punct al sferei terestre, cu excepția cazului când observatorul se află în unul din polii tereștri. În acest caz verticala locului se confundă cu axa polilor tereștri, astfel că planul meridianului locului nu mai este un plan determinat. Planul meridianului locului fiind nedeterminat, înseamnă că nici liniile N-S și E-W nu mai pot fi stabilite în planul orizontului adevărat.

Liniile N-S și E-W împart orizontul adevărat al observatorului în patru cadrane. Denumirea fiecărui cadran are ca origine linia N-S și ca sens – estul și vestul, deci: *cadranul nord-est* (NE), *cadranul sud-est* (SE), *cadranul sud-vest* (SW) și *cadranul nord-vest* (NW).

Liniile și planele definite mai sus sunt proprii poziției fiecărui observator pe sfera terestră.

§2 Drum adevărat, relevment adevărat, relevment prova. Sisteme de contare a drumurilor și relevmentelor în orizontul adevărat

1 Drum adevărat, relevment adevărat, relevment prova

Considerăm un observator la bordul unei nave în punctul *A* pe suprafața sferei terestre (fig. 2-2a); nava se deplasează cu prova pe direcția punctului *B* având în vedere farul *F*.

Direcția de deplasare a navei se exprimă prin unghiul sferic cu vârful în *A*, format între meridianul adevărat al locului și arcul de cerc mare *AB* determinat prin intersecția sferei terestre cu planul diametral al navei, denumit *drumul adevărat (Da)* al navei.

Direcția la farul *F* se determină prin unghiul sferic cu vârful în *A*, format între meridianul adevărat al locului și arcul de cerc mare *AF*, denumit *relevment adevărat (Ra)*.

Avându-se însă în vedere faptul că distanțele la obiectele vizibile de la bordul navei sunt relativ mici și că deplasarea navei în același drum se face pe distanțe limitate, în practica navigației drumurile și relevmentele se exprimă ca unghiuri plane

formate în planul orizontului adevărat al observatorului; direcțiile care det...... aceste unghiuri plane sunt obținute prin intersecția orizontului adevărat al observatorului cu cele trei plane verticale care conțin meridianul adevărat al locului și arcele de cerc mare *AB* și respectiv *AF* (fig. 2-2 b).

Deci *drumul adevărat (Da)* al navei este unghiul în planul orizontului adevărat format între direcția nord adevărat și axa longitudinală a navei. În figura 2-2 drumul adevărat al navei este ∢*Na AB = Da;* acest unghi determină direcția de deplasare a navei în raport cu meridianul locului.

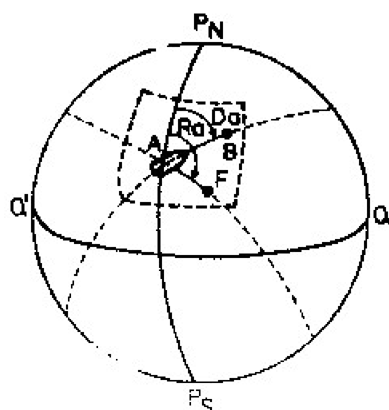


Fig. 2-2a

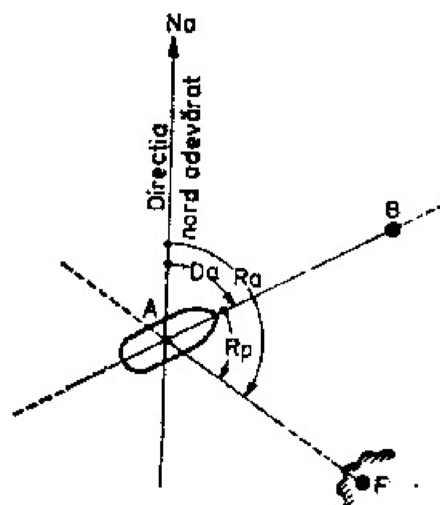


Fig. 2-2b

Relevmentul adevărat (Ra) este unghiul în planul orizontului adevărat format între direcția nord adevărat și direcția la obiect; astfel, relevmentul adevărat la farul *F* este ∢*Na AF = Ra.* Acest unghi determină direcția la obiect în raport cu meridianul locului.

Rezultă că pentru a face posibilă determinarea drumurilor și relevmentelor, în practica navigației este necesară stabilirea direcției nord adevărat în planul orizontului adevărat; materializarea liniei nord-sud la bordul navei se realizează cu compasul.

Direcțiile la reperele de navigație, la aștri etc. mai pot fi determinate și în raport cu axa longitudinală a navei. Unghiul dintre axa longitudinală a navei și direcția la un obiect se numește *relevment prova (Rp);* astfel, relevmentul prova la farul *F* pentru observatorul situat în *A* este ∢*BAF = Rp.*

2 Sisteme de contare a drumurilor și a relevmentelor în orizontul adevărat

Mărimile unghiulare ale drumurilor și relevmentelor se exprimă în grade sexagesimale. În trecut, în perioada velierelor, drumurile și relevmentele se exprimau în carturi.

În afara diferitelor unități de măsură în care se pot exprima drumurile și relevmentele, în navigație se întâlnesc mai multe sisteme de contare a acestor unghiuri, privind originea lor de măsurare. În cele ce urmează vom prezenta sistemele principale folosite în navigație pentru contarea drumurilor și relevmentelor, precum și relațiile dintre ele.

A Sistemul circular

În navigaţia modernă, drumurile şi relevmentele se exprimă în grade sexagesimale, contându-se de la direcţia nord în sens retrograd, putând lua valori de la 0° al 360° (fig. 2-3).

Direcţia 0° indică deci direcţia nord, 90° direcţia est, 180° direcţia sud şi 270° direcţia vest.

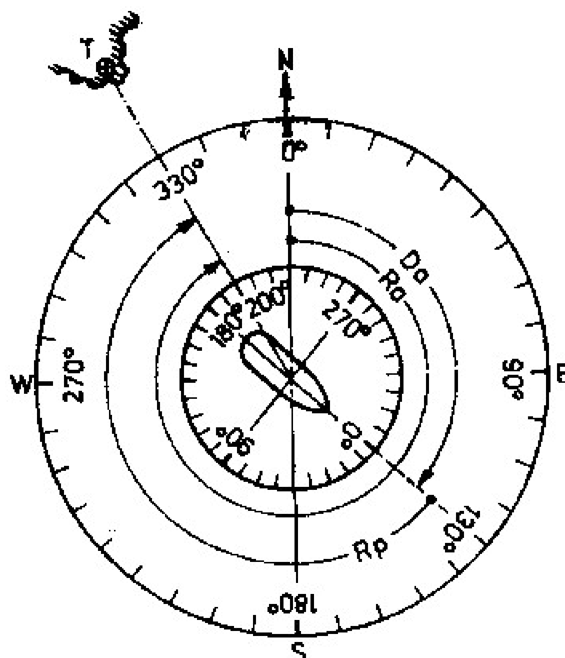


Fig. 2-3

În sistemul circular, *drumul adevărat* al navei este unghiul măsurat de la direcţia nord în sens retrograd până la axa longitudinală a navei, putând lua valori de la 0° la 360°. *Relevmentul adevărat* la un obiect se măsoară de la direcţia nord în sens retrograd până la direcţia la obiect. În figura 2-3, nava se deplasează în Da = 130°, iar obiectul T se vede în Ra = 330°.

Relevmentul prova la un obiect se măsoară de la direcţia prova (0°) în sens retrograd până la direcţia obiectului, putând lua valori de la 0° la 360°. Rp = 0° indică deci direcţia prova; Rp = 90°, traversul tribord ($\perp$ *Td*); Rp = 180°, direcţia pupa şi Rp = 270°, traversul babord ($\perp$ *Bd*). În figura 2-3 obiectul T se vede în Rp = 200°.

Din figura 2-3 se observă că drumul navei, relevmentul adevărat şi relevmentul prova sunt legate prin următoarele relaţii:

$$Ra = Da + Rp \quad (2\text{-}1)$$

$$Da = Ra - Rp \quad (2\text{-}1')$$

$$Rp = Ra - Da \quad (2\text{-}1'').$$

Aceste relaţii, cu o largă aplicare în practica navigaţiei, îşi păstrează valabilitatea numai dacă cele trei elemente sunt exprimate în sistemul circular.

Sistemul circular are o aplicare generală la bordul navelor moderne.

B Sistemul cuadrantal

În sistemul cuadrantal, în grade, orizontul adevărat este împărțit în cele patru cadrane: NE, SE, SW și NW. Drumurile și relevmentele se contează de la direcția nord sau sud (gradația 0°), în sensurile est sau vest, putând lua valori de la 0° la 90° (fig. 2-4).

Drumul navei sau relevmentul se notează indicând cadranul de orizont (NE, SE, SW, NW) în care sunt cuprinse direcția respectivă și mărimea unghiulară în grade; astfel, același drum al navei și relevmentul la obiectul *T*, exemplificate mai sus în sistemul circular, se exprimă cuadrantal (fig. 2-4) astfel: *Da* = SE 50°;*Ra* = NW 30°.

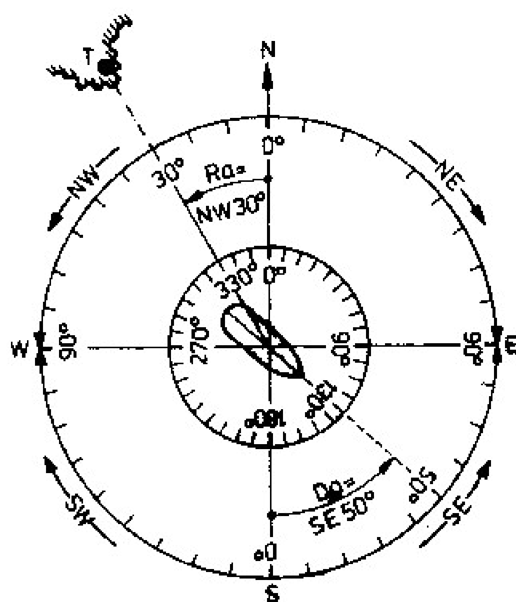


Fig. 2-4

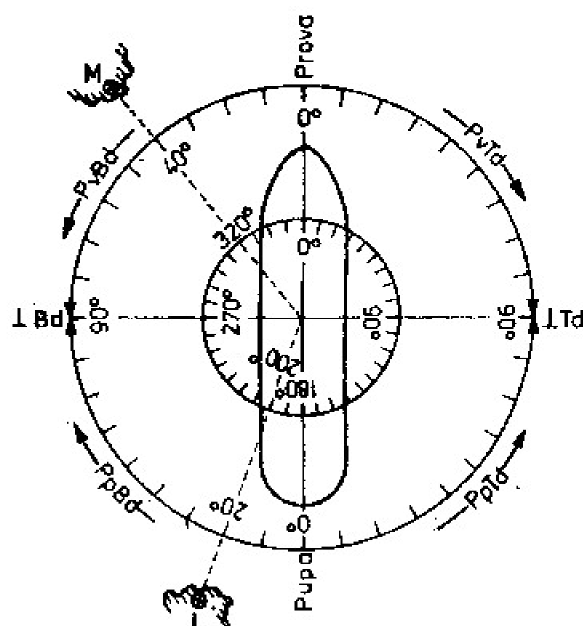


Fig. 2-5

Relevmentele prova se exprimă adesea în sistem cudrantal, folosind ca origine de contare direcția prova sau pupa și sensul tribord sau babord, putând lua valori de la 0' (direcția prova sau pupa) la 90' (travers tribord sau babord) (fig. 2-5).

Relevmentele pova în acest caz se exprimă indicând cadranul navei (*Pv Td, Pp Td, Pp Bd, Pv Bd*), în care sunt cuprinse direcția la obiect și măsura unghiulară, astfel: *Rp = Pp Bd* 20° la obiectul *L*; *Rp = Pv Bd* 40° la obiectul *M* etc.

Drumurile și relevmentele exprimate în sistemul cuadrantal se transformă în sistem circular folosind următoarele relații (fig. 2-4 și 2-5):

Da (Ra) în sistem cuadrantal	*Da (Ra)* în sistem circular	*Rp* în sistem cuadrantal	*Rp* în sistem circular
$Da(Ra)$ = NEn°	$Da(Ra) = n^\circ$	$Rp = Pv\ Td\ n^\circ$	$Rp = n^\circ$
$Da(Ra)$ = SEn°	$Da(Ra) = 180^\circ - n^\circ$	$Rp = Pp\ Td\ n^\circ$	$Rp = 180^\circ - n^\circ$
$Da(Ra)$ = SWn°	$Da(Ra) = 180^\circ + n^\circ$	$Rp = Pp\ Bd\ n^\circ$	$Rp = 180^\circ + n^\circ$
$Da(Ra)$ = NWn°	$Da(Ra) = 360^\circ - n^\circ$	$Rp = Pv\ Bd\ n^\circ$	$Rp = 360^\circ - n^\circ$

Exprimarea direcţiilor ca relevmente prova în sistem cudrantal se foloseşte frecvent în veghea de navigaţie, pentru a raporta apariţia diferitelor obiecte (faruri, nave, geamanduri etc.), când mărimile unghiulare se stabilesc prin apreciere. Antrenamentul ofiţerilor maritimi cât şi al timonierilor, care concură la efectuarea veghei de navigaţie, pentru o apreciere corectă a mărimilor unghiulare, în scopul stabilirii direcţiei, la diferite obiecte care prezintă interes în conducerea navei, constituie o obligaţie profesională.

C Sistemul semicircular

Sistemul semicircular, în grade, se foloseşte într-o măsură redusă şi doar pentru a exprima relevmentele prova. În acest sistem, relevmentele prova se măsoară de la prova (direcţia 0°) spre tribord sau babord până la direcţia obiectului, putând lua valori de la 0° la 180° (direcţia pupa).

Sensul de contare a relevmentelor prova este cel retrograd, pentru obiectele aflate în bordul tribord (*Rp Td*) şi direct, pentru cele aflate în babord (*Rp Td*); ca urmare, relaţia care leagă *Ra* şi *Rp* (*Td* sau *Bd*) devine următoarea:

$$Ra = Da \pm Rp^{Td}_{Bd} \qquad (2\text{-}2)$$

D Împărţirea orizontului adevărat în carturi

În perioada velierelor, când guvernarea navelor nu era posibilă la o precizie comparabilă cu cea de la navele cu propulsie mecanică, drumurile ca şi direcţiile la obiecte erau exprimate în carturi.

Un cart reprezintă a 32-a parte din orizont, deci:

$$1 \text{ cart} = 360°: 32 = 11°15' = 11°1/4.$$

Exprimarea unghiurilor se făcea în sistemul cuadrantal. Fiecare cadran de orizont era împărţit în opt carturi, începând de la direcţia nord şi sud, spre est şi vest (fig. 2-6).

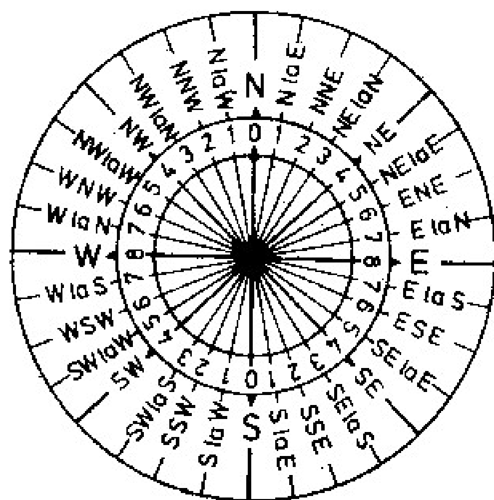


Fig. 2-6

Fiecare cart avea o denumire proprie, aşa cum se arată în fig. 2-6, precum şi un număr de ordine de la zero la 8, începând de la nord şi sud, spre est şi vest; exprimarea direcţiei se făcea fie prin denumirea cartului, fie prin indicarea cadranului de orizont urmat de numărul de ordine al cartului.

Carturile principale sunt următoarele:

– N, E, S, şi W, care exprimă direcţii cardinale;

– NE, SE, SW şi NW, care exprimă direcţiile intercardinale;

– NNE, ENE, ESE, SSE, SSW, WSW, WNW şi NNW, care exprimă direcţiile inter-cardinale.

În prezent, sistemul carturilor se mai foloseşte pentru a exprima direcţia vântului (direcţia din care suflă vântul) şi mai puţin frecvent, pentru a indica direcţia curentului (sensul în care se deplasează masa de apă), *la precizia carturilor inter-cardinale.*

De asemenea se mai foloseşte în practica veghei de navigaţie pentru a exprima, pe bază de apreciere, direcţiile în care apar în vedere diferite obiecte, folosind sistemul de contare cuadrantal, în raport cu axele navei, astfel: "prova tribord... ... carturi", "pupa babord... carturi". Cartul zero se consideră deci în prova, respectiv pupa, iar celelalte se contează spre travers tribord sau babord, câte 8 carturi.

§3 Orizontul vizibil

1 Orizontul geometric

Ochiul observatorului la bordul navei se află la o anumită înălţime deasupra nivelului mării. În figura 2-7 considerăm un observator în A, la înălţimea i deasupra nivelului mării, având poziţia A' pe sfera terestră.

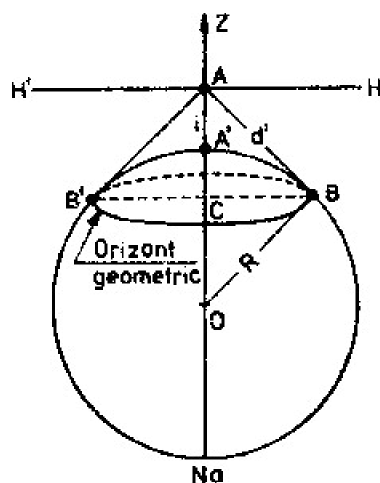


Fig. 2-7

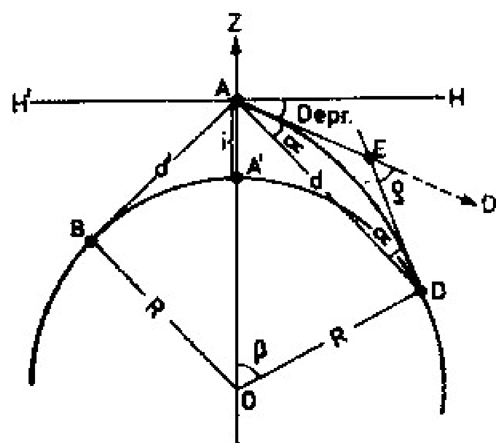


Fig. 2-8

Dacă Pământul nu ar fi înconjurat de atmosferă, locul punctelor celor mai depărtate de pe sfera terestră vizibile din A ar fi determinat de tangentele duse din ochiul observatorului la sfera terestră. Cu alte cuvinte, aceste puncte s-ar găsi pe cercul de tangenţă determinat prin circumscripţia sferei terestre cu un con a cărui axă s-ar confunda cu verticala locului, având vârful în ochiul observatorului A; acest cerc mic pe sfera terestră al punctelor B, având centrul pe verticala locului în C, este denumit *orizont geografic* sau *orizont geometric.*

Distanţa din A la orizontul geometric este $d' = AB$; în practica navigaţiei, dată fiind valoarea neînsemnată a lui i în raport cu d', distanţa dintre poziţia A' a observatorului pe sfera terestră şi orizontul geometric ($A'B$) se poate considera egală cu segmentul $d' = AB$, care se obţine din ABO, dreptunghic în B:

$$AB^2 = AO^2 - BO^2$$

sau:

$$d'^2 = (R + i)^2 - R^2 = 2Ri + i^2$$

Valoarea i^2 poate fi practic neglijată, i fiind neînsemnat ca mărime în raport cu 2Ri; distanţa la orizontul geometric se obţine deci din relaţia:

$$d' = \sqrt{2Ri} \qquad (2\text{-}3)$$

Orizontul geometric, ca şi toate celelalte orizonturi definite la §1 sunt nişte plane imaginare.

2 Orizontul vizibil

Observatorul de la bordul navei, în condiţiile existenţei atmosferei terestre, vede un singur orizont – determinat de linia aparentă care separă marea de cer, denumit *orizont vizibil* sau *orizontul mării*.

Orizontul vizibil este situat mai departe decât orizontul geometric, datorită efectului *refracţiei terestre*. Refracţia terestră este fenomenul care cauzează devierea razei de lumină ce leagă două puncte de la suprafaţa Pământului, situate la altitudini diferite.

Pentru a explica elementele care definesc orizontul vizibil, în fig. 2-8 considerăm observatorul A, în aceleaşi condiţii ca în fig. 2-7. Densitatea aerului în straturile inferioare ale atmosferei variază invers proporţional cu altitudinea; de aceea, o rază de lumină care pleacă din punctul D, aflat pe orizontului vizibil, trecând prin straturi atmosferice cu o densitate care scade cu altitudinea, este refractată şi ajunge în ochiul observatorului A parcurgând o curbă DA, denumită *curbă de refracţie*. Curba de refracţie DA, are concavitatea spre Pământ şi este conţinută în planul vertical determinat de verticalele locului în punctele A' şi D.

Observatorul considerat în A vede punctul D al orizontului mării pe direcţia AD', determinată de tangenta la curba de refracţie în punctul A. curba de refracţie având concavitatea spre Pământ şi fiind conţinută în acelaşi plan vertical, *rezultă că refracţia terestră modifică numai înălţimea aparentă a obiectelor observate, fără a afecta relevmentele lor.*

Unghiul format între planul orizontului adevărat al observatorului (HH') şi direcţia la orizontul vizibil (AD') se numeşte *depresiunea orizontului vizibil (Depr.)*.

Refracţia terestră este funcţie de diferenţa de densitate a straturilor inferioare ale atmosferei; diferenţa de densiatate este dependentă în principal de temperatura, presiunea şi umiditatea acestor straturi atmosferice. Orizontul vizibil se poate considera ca un cerc mic pe sfera terestră, în ipoteza că refracţia terestră este aceeaşi pe întreg orizontul.

Repartiția orizontală neomogenă a maselor de aer care constituie straturile inferioare ale atmosferei poate da naștere unei refracții terestre neuniforme, cu apariția unei imagini frânte sau deformate a liniei orizontului vizibil; fenomenul poartă denumirea de *miraj*, putând lua forme optice foarte diferite. De asemenea, o refracție anormală poate da naștere la fenomene surprinzătoare privind distanța la care sunt vizibile obiectele. Pentru exemplificare, extragem următoarea relatare din jurnalul de bord personal al autorului, comandant al navei ARDEAL: *„18 august 1959. Ora 16.14 dublăm capul Guardafui și intrăm în Golful Aden. Curenți puternici în direcția WNW; temperatura apei de mare crește brusc de la 28° C la 32° C. Adăpostul coastei Africii în calea musonului de SW oferă bătrânului ARDEAL binemeritata liniște, după atâtea zile de încercări grele.*

Fiind la travers Ras Alula, distanța 14 Mm, în drum adevărat 281° a apărut în prova babord o «insulă»; sesizați de faptul că în această direcție nu se afla nici o insulă, i s-a observat relevmentul din poziția cunoscută a navei și s-a identificat a fi vârful muntelui Warsangeleh, aflat la distanța de 140 Mm. Atmosfera extrem de transparentă la orizont. La apusul Soarelui s-a văzut foarte clar «raza verde», iar cerul a avut un colorit de basm. Este evident că miracolul «insulei» a fost consecința unei refracții terestre neobișnuite".

3 Determinarea distanței la orizontul vizibil

Pentru a face posibilă determinarea cu exactitate a distanței la orizontul vizibil ar trebui să se stabilească cu rigurozitate traiectoria razei de lumină *DA*, adică a curbei de refracție terestră. Aceasta ar implica cunoașterea constituției atmosferei sau cel puțin a legii variației densității, în diferitele ei straturi. Deoarece nu avem încă asemenea cunoștințe despre atmosferă, studiul refracției terestre și al efectelor ei nu se poate baza în prezent decât pe ipoteze.În consecință, determinarea distanței *d* la orizontul vizibil se realizează prin stabilirea unei mărimi aproximative, valabilă pentru condițiile medii de refracție terestră, care se adaugă la distanța *d'* la orizontul geometric.

Unghiul ρ format între tangentele la curba de refracție în punctele *A* și *D*, se numește *unghiul refracției terestre* (fig. 2-8). Mărimea acestui unghi nu poate fi stabilită cu precizie din motivele arătate mai sus; mărimea aproximativă a unghiului refracției terestre (ρ) se determină pe baza unor reguli stabilite experimental, care se verifică cu suficientă precizie numai pentru distanțe relativ mici, de ordinul a câteva mile marine, la diferențe de altitudine până la 25-30 m și numai în condiții atmosferice normale, care generează condiții medii de refracție terestră.

Aceste reguli, denumite *legile refracției terestre*, sunt următoarele:

– *curba de refracție terestră AD se asimilează cu un arc de cerc.* Se admite deci că triunghiul *ADE* este isoscel, iar unghiurile formate în *A* și *D* sunt egale. Notând acest unghi cu α, el se află cu ρ în următoarea relație:

$$\alpha = \frac{\rho}{2} \qquad (2\text{-}4)$$

motiv pentru care este numit *semiunghiul refracției terestre*;

– *unghiul refracției terestre* (ρ) *este proporțional cu unghiul* β, *la centrul sferei terestre* format între verticalele punctelor *A* și *D*, respectând următoarea relație:

$$\rho = k\beta \quad \text{sau} \quad \rho = 2\gamma\beta \tag{2-5}$$

Coeficientul γ este numit *coeficientul refracției terestre** , valoarea lui variind între 0.04 și 0.15 – în funcție de condițiile atmosferice. Pentru o stare atmosferică normală, care generează condiții medii de refracție terestră, se consideră cu valoarea sa medie de 0.08.

Din relațiile (2-4) și (2-5) se observă că semiunghiul refracției terestre poate fi exprimat de egalitatea:

$$\alpha = \gamma\beta \tag{2-6}$$

Distanța la orizontul vizibil (d) se consideră mai mare decât distanța la orizontul geometric (d') cu o mărime în funcție de semiunghiul refracției terestre (α):

$$d = d' + \gamma\beta$$

Pentru precizia necesară calculului, măsura unghiului β în minute de arc poate fi considerată egală cu distanța d' la orizontul geometric exprimată în mile marine.

Deci:

$$d = d' + \gamma d' = d'(1 + \gamma) = 1.08\, d'$$

Având în vedere relația (2-3) care exprimă pe d', obținem;

$$d = 1.08\sqrt{2Ri} \tag{2-7}$$

Pentru a obține distanța la orizontul vizibil (d) în mile marine, cunoscând înălțimea ochiului observatorului (i), în metri, se introduc factorii R și i în relația (2-7) exprimați în mile marine:

$$R = 3437.75 \text{ Mm};$$

$$i(\text{Mm}) = \frac{i(\text{m})}{1852}$$

Deci:

$$\text{d(mM)} = 1.08\sqrt{\frac{2\times 3437\cdot 75\cdot i(\text{m})}{1852}} = 1.08\sqrt{\frac{2\times 3437\cdot 75}{1852}}\sqrt{i(\text{m})}$$

de unde:

$$d(\text{Mm}) = 2.08\sqrt{i(\text{m})} \tag{2-8}$$

Dacă înălțimea ochiului observatorului este exprimată în picioare, distanța la orizontul vizibil în mile marine este dată de egalitatea:

$$d(\text{Mm}) = 1.15\sqrt{i(\text{pic.})} \tag{2-9}$$

Avându-se în vedere faptul că înălțimea ochiului observatorului situat pe puntea de comandă a unei nave maritime comerciale nu depășește înălțimea de 25 m, iar

* În anumite tratate de specialitate este indicat k drept coeficient al refracției terestre, cu valoarea medie de 0.16, ceea ce nu modifică cu nimic relațiile de calcul.

distanța la orizontul vizibil nu depășește valoarea de 10 Mm rezultă că distanța, la orizontul vizibil calculată pe baza relației (2-8) prezintă o precizie satisfăcătoare, *în condițiile unei stări atmosferice normale.*

Formula (2-8) este rezolvată de *tabla* 22 din *Tablele Nautice MT-53*. În lipsa tablelor, calculul poate fi efectuat practic rezolvând formula aproximativă:

$$d(\mathrm{Mm}) \simeq 2\sqrt{i(m)}$$

Formula (2-9) este rezolvată de tabla *„Distance of sea horizon in nautical miles"* din *Brown's Nautical Almanac.*

La bordul navelor maritime de transport, a căror linie de plutire are variații considerabile în funcție de starea de încărcare, se impune a se stabili și afișa în camera hărților – înălțimea punții de comandă și a punții etalon, de unde se fac observațiile în navigație deasupra liniei de plutire, la diferite pescaje; pentru a stabili înălțimea ochiului observatorului deasupra nivelului mării, rămâne ca navigatorul să adauge înălțimea proprie la înălțimea punții de observație deasupra liniei de plutire.

Exemplul 1. Înălțimea ochiului observatorului deasupra nivelului mării este 5.5 m. Să se afle distanța la orizontul vizibil.

Utilizarea tablei 22 (MT-53)

Se intră pe coloana „înălțimea în metri", cu i = 5.5 m și se citește în dreapta pe coloana „distanța în mile", distanța la orizontul vizibil d = 4.9 Mm.

3 DETERMINAREA DIRECȚIILOR LA BORDUL NAVEI CU COMPASUL MAGNETIC

§1 Generalități asupra determinării direcțiilor la bordul navei

Direcțiile în planul orizontului adevărat al observatorului se determină la bordul navei ca mărimi unghiulare în raport cu *linia nord-sud*, materializată cu ajutorul *compasului.*

Determinarea direcțiilor la bord, *a drumului navei – pentru deplasarea dintr-un punct în altul pe suprafața Pământului* și a relevmentelor necesare la stabilirea poziției navei, constituie problema fundamentală a navigației. Compasul reprezintă deci instrumentul de cea mai mare importanță la bord.

Compasul magnetic, a cărui funcționare se bazează pe proprietatea acului magnetic liber suspendat de a se orienta pe direcția liniilor de forță ale câmpului magnetic sub a cărui influență se află, este primul tip de compas folosit la bordul navelor. Aportul lui în navigație este inestimabil; compasul magnetic a permis navigatorilor să se desprindă din vederea coastei și să se avânte la larg, constituind una din realizările omului care și-a adus cu prisosință contribuția la făurirea istoriei lumii moderne.

Construcția navelor din fier a determinat necesitatea realizării *compasului giroscopic. Compasul giroscopic* sau *girocompasul* este o instalație electromecanică complexă, constând în principiu dintr-un tor (un corp rotund de masă omogenă), liber suspendat printr-un sistem cardanic, care este rotit cu o viteză foarte mare de rotație; sub influența forței de gravitație a Pământului, axa torului tinde să-și mențină orientarea în planul meridianului locului, indicând linia nord-sud în planul orizontului adevărat.

Direcțiile la bordul navelor maritime se determină cu ajutorul *compasului magnetic* și al *compasului giroscopic*, care intră în dotarea lor.

Compasul magnetic este un instrument simplu, relativ ieftin, se instalează ușor la bord, ocupă un spațiu redus, întreținerea lor este ușoară. Dezavantajul îl constituie faptul că indicațiile lui sunt dependente de variațiile câmpului magnetic.

Acest fapt este important îndeosebi la bordul navelor maritime comerciale, al căror magnetism poate varia considerabil funcție de marfa încărcată la bord (minereuri de fier, produse de oțel, fontă etc.). Precizia indicațiilor compasului magnetic este afectată de asemenea de variația magnetismului ca urmare a schimbărilor mari de latitudine, situație normală pentru o navă de cursă lungă,

precum și de balansul navei pe mare rea; efectul acestor două cauze poate fi însă înlăturat printr-o reglare („compensare") corespunzătoare a compasului magnetic pe timpul navigației, operațiune cu care ofițerii maritimi trebuie să fie familiarizați.

Compasul giroscopic oferă indicații mai precise și mai eficiente decât compasul magnetic; este însă o instalație electromagnetică complexă expusă defecțiunilor, îndeosebi la bordul navelor maritime comerciale, unde se impune o funcționare continuă de lungă durată; deseori, aceste defecțiuni nu pot fi remediate cu mijloacele bordului.

Ca o consecință a celor arătate, determinarea direcțiilor la bordul navelor maritime comerciale se realizează prin dotarea acestora cu ambele tipuri de compasuri; *guvernarea navei se asigură după compasul giroscopic printr-un control continuu al indicațiilor acestuia cu acelea ale compasului magnetic, măsură de o importanță vitală pentru siguranța navigației.* Nerespectarea acestui imperativ de către personalul de cart a cauzat în dese cazuri accidente grave de navigație , care s-au soldat cu avarii mari sau chiar cu pierderi de nave și de vieți omenești .

Măsura se impune deopotrivă atunci când guvernarea navei se efectuează cu *pilotul automat* (instalație care asigură guvernarea automată a navei).

Regulile Registrului Naval Român prevăd obligativitatea dotării navelor maritime comerciale cu un compas giroscopic și cu următoarele compasuri magnetice: *compas magnetic etalon* (instalat pe puntea etalon), *compas magnetic de drum* (instalat în timonierie, lângă timonă, pentru guvernarea navei) și un compas magnetic de drum (instalat la postul de comandă de rezervă).

Indicațiile compasului magnetic și ale celui giroscopic devin incerte în zonele polare, unde forțele directive pentru ambele tipuri de compasuri pierd considerabil din intensitate. Această situație apare însă la latitudini superioare zonelor frecventate normal de navele maritime de transport și de pescuit oceanic.

În zonele apropiate de cei doi poli, în condiții de vizibilitate bună au fost folosite așa-numitul *compas solar* și *astrocompasul** .

Compasul solar modern, folosit începând din anul 1944, realizează ca linie de referință în orizont, în raport de care se măsoară drumul navei, linia de intersecție dintre planul vertical de polarizare a luminii Soarelui de către atmosfera terestră, determinat cu ajutorul unui *polaroid* și planul orizontului adevărat. Instrumentul este folosit pe o perioadă mai lungă de 6 luni, pe timpul „zilei polare"; funcționarea acestui tip de compas solar se asigură nu numai când Soarele este direct vizibil deasupra orizontului, ci și când „astrul zilei" se află la o înălțime negativă oarecare sub orizont (când fenomenul de polarizare a luminii se mai manifestă încă cu intensitate suficientă), precum și când Soarele se află acoperit de nori.

---

* Linia nord-sud se determină prin calculul unghiului la zenit semicircular al Soarelui sau al unui astru în vedere (vezi cap. 15), care se vizează continuu cu ajutorul unei alidade montate pe un cerc azimutal (gradat în sistem semicircular, de la 0° la 180°), orientabil în orizont; dacă alidada face cu linia 0°-180° a cercului azimutal un unghi egal cu unghiul la zenit, înseamnă că această linie este orientată pe direcția nord-sud.

Pentru ca linia 0°–180° să se mențină pe direcția nord-sud, considerând că vizarea Soarelui sau a astrului cu alidada se face continuu, poziția cercului azimutal se corectează funcție de mișcarea diurnă a astrului (cap. 16), cu ajutorul unui mecanism de orologerie. Procedeul se poate aplica în condiții de vizibilitate bună.

La navele mici și rapide, compasul magnetic și cel giroscopic nu dau rezultate satisfăcătoare. La compasul magnetic, roza este antrenată în sensul întoarcerilor la schimbări rapide de drum; la compasul giroscopic, la schimbări rapide de drum pot să apară forțe de inerție capabile să scoată axul giroscopic din meridian. Pentru asemenea nave s-a realizat așa-numitul *compas giromagnetic*, a cărui orientare în meridian se obține prin asocierea unui giroscop cu un sistem de ace magnetice. Compasurile giromagnetice se folosesc îndeosebi la navele militare și în general , așa cum s-a arătat, la navele mici și rapide. Nu intră în dotarea navelor maritime comerciale.

§2 Proprietățile magnetismului

Din timpurile cele mai vechi se cunosc o serie de minerale cu conținut de fier, care au proprietatea de a atrage fierul, nichelul și cromul; această proprietate se numește *magnetism*. O astfel de proprietate are oxidul de fier Fe_3O_4, numit *magnetită*. Dacă un corp are acestă proprietate prin natura sa, se spune că este un *magnet natural*; magnetita, de exemplu, este un magnet natural.

În cazul când un corp se magnetizează prin anumite procedee, se spune că este un *magnet artificial*. Analizele efectuate asupra unei bare de fier, înainte și după magnetizare, au dus la concluzia că nu se produce nici o modificare în compoziția chimică sau structura fizică a fierului.

Dacă fierul magnetizat printr-un procedeu oarecare își păstrează proprietățile magnetice pentru un interval mare de timp, se spune că este un *fier tare din punct de vedere magnetic*; asemenea magneți se numesc *magneți permanenți*.

Fierul, care supus magnetizării își păstrează proprietățile magnetice numai pe timpul când se află sub influența sursei de magnetizare, se numește *fier moale din punct de vedere magnetic*.

Practic, nu se poate obține un fier absolut tare sau absolut moale din punct de vedere magnetic. Un magnet permanent oricât de puternic ar fi, pierde cu timpul din intensitatea sa magnetică inițială. De asemenea, fierul moale își mai păstrează un oarecare magnetism indus chiar după înlăturarea sursei magnetice inductoare, denumit *magnetism remanent*. De aceea, în mod practic, prin fier moale sau tare din punct de vedere magnetic se exprimă proprietatea care predomină în fierul respectiv.

Studiul magnetismului efectuat pe cale experimentală a dus la stabilirea a o serie de proprietăți; în cele ce urmează se vor reaminti acelea care prezintă interes pentru înțelegerea funcționării și utilizării compasului magnetic la bord.

1 – Orice fier magnetizat, indiferent de forma pe care o are, are doi poli magnetici: *polul nord* sau *pozitiv* și *polul sud* sau *negativ*; în limbajul folosit la bord, polul nord mai este denumit *pol roșu*, iar polul sud – *pol albastru* (magneții permanenți utilizați la bord pentru compensarea compasului magnetic sunt vopsiți astfel: *roșu* – jumătatea nordică, *albastru* – jumătatea sudică).

Partea nordică a magnetului este separată de partea sudică printr-o linie neutră din punct de vedere magnetic.

În orice magnet, valoarea magnetică a polului nord este egală cu valoarea magnetică a polului sud.

Linia imaginară care unește polii unui magnet se numește *axă magnetică.* La magneții în formă de bare cu forme geometrice regulate, dintr-un metal omogen, axa magnetică se confundă cu axa de simetrie.

2 – Dacă un magnet se rupe în bucăți, fiecare bucată rezultată devine un magnet.

3 – Dacă se apropie un magnet de o bară de fier moale sau de oțel, aceasta se magnetizează; în capătul barei situat mai aproape de magnet se formează un pol magnetic de nume contrar cu polul cel mai apropiat al magnetului. Fenomenul se numește *magnetizare prin inducție magnetică* sau prin *influență magnetică.*

După îndepărtarea magnetului, magnetismul fierului moale dispare repede, iar magnetismul oțelului se păstrează; pentru a anihila magnetismul oțelului este necesară o influență magnetică puternică de sens contrar.

Într-un anumit fier poate fi indusă o anumită cantitate de magnetism, în funcție de calitățile fierului respectiv; nu se poate însă depăși o anumită limită de *saturație magnetică.*

4 – Dacă se ia un magnet permanent și se acoperă cu o bucată de hârtie sau sticlă, pe care se presară pilitură de fier, aceasta, după o ușoară agitare, se orientează într-o anumită formă numită *spectru magnetic.* Studiul spectrului magnetic arată că pilitura de fier se orientează pe niște linii curbe, care se unesc în polii magnetului; aceste curbe se numesc *linii de forță.* Liniile de forță sunt dispuse în toate planele ce trec prin axa magnetică și se consideră că ies din polul nord al magnetului și intră în polul sud. Spațiul străbătut de liniile de forță se numește *câmp magnetic.*

5 – Doi magneți aflați în apropiere unul de altul se acționează reciproc, astfel:

– polii de același nume se resping;

– polii de nume contrarii se atrag.

6 – Cantitatea de magnetism de un nume oarecare a unui magnet se numește *masă magnetică (m)*; masa magnetică nordică a unui magnet este egală cu masa sa magnetică sudică.

7 – *Legea lui Coulomb.* Prin analogie cu legea aplicată în electrostatică, Coulomb a stabilit că două mase magnetice m_1 și m_2, separate de o distanță *r*, se atrag (dacă au magnetism de nume contrarii) sau se resping (dacă au magnetism de același nume), cu o forță *F* direct proporțională cu produsul maselor și invers proporțională cu pătratul distanței ce le separă:

$$F = k\,\frac{m_1 . m_2}{r^2}$$

unde *k* este o constantă ce caracterizează permeabilitatea magnetică a mediului și sistemul de unități de măsură.

8 – *Unitatea de masă magnetică* în sistemul CGS este masa magnetică, care așezată în vid la distanța de 1 cm de o altă masă magnetică, identică, o atrage sau o respinge cu o forță de o dină.

9 – *Intensitatea câmpului magnetic* într-un anumit punct al său este mărimea forței cu care acționează câmpul magnetic asupra unei unități de masă pozitivă, aflată în acel punct.

Unitatea de intensitate a câmpului magnetic în sistemul CGS se numește *oersted.*

Intensitatea câmpului magnetic se consideră orientată pe direcţia tangentei la linia de forţă a câmpului magnetic în punctul considerat.

10 – *Momentul magnetic (M_0)* al unui magnet este produsul dintre masa magnetică a unuia din poli m (în valoare absolută) şi distanţa dintre poli (l).

$$M_0 = ml$$

11 – Dacă liniile de forţă ale câmpului magnetic sunt paralele între ele şi intensitatea este aceeaşi în toate punctele, acesta este denumit *câmp magnetic uniform*; în caz contrar este denumit *câmp magnetic neuniform*.

Orice câmp magnetic în totalitatea lui este neuniform. Practic, se poate considera însă că într-un spaţiu restrâns al câmpului magnetic respectiv, liniile de forţă sunt paralele între ele şi intensitatea este aceeaşi în toate punctele, având proprietăţile unui câmp magnetic uniform.

12 – Introducându-se un ac magnetic de dimensiuni reduse, liber suspendat în centru său de greutate, într-un câmp magnetic uniform, forţele care acţionează asupra polilor nord şi sud ai acului magnetic sunt egale şi de sensuri contrare.

De aceea, în studiul acţiunii unui câmp magnetic asupra acului magnetic de la bordul navei, este suficient să se analizeze numai acţiunea asupra polului nord, ştiindu-se că asupra polului sud acţionează o forţă egală şi de sens contrar.

13 – Acul magnetic liber suspendat în centru său de greutate, supus acţiunii unui câmp magnetic uniform, se comportă astfel:

– acul magnetic se orientează pe direcţia tangentei la linia de forţă în punctul ocupat de centrul de suspensie al acestuia;

– polul nord al acului se orientează spre polul sud al magnetului, iar polul sud al acului – spre polul nord al magnetului.

Dacă axa acului magnetic suspendat în centrul său de greutate introdus într-un câmp magnetic uniform formează în momentul iniţial un unghi α cu liniile de forţă (fig. 3-1) se observă că poziţia punctului de suspensie nu suferă nici o deplasare, iar acul, după un anumit număr de oscilaţii în jurul acestui punct, se orientează într-o poziţie de echilibru pe direcţia liniilor de forţă.

Acţiunea câmpului magnetic asupra acului suspendat este deci numai *orientativă* şi nu are nici un efect de translaţie.

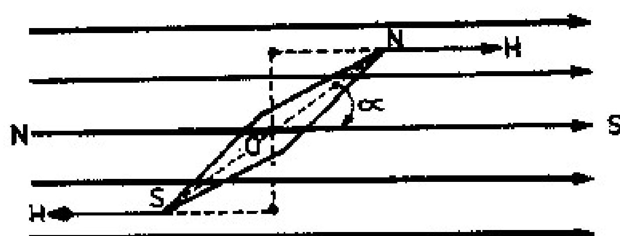


Fig. 3-1

Câmpul magnetic uniform acţionează asupra polilor acului magnetic cu două forţe rezultante egale, paralele şi de sensuri contrarii, formând un cuplu care are tendinţa de a orienta acul pe direcţia liniilor de forţă, denumit *cuplu directiv*. Tendinţa acului de a se orienta pe direcţia liniilor de forţă ale câmpului magnetic uniform este direct proporţională cu mărimea momentului cuplului directiv.

Considerând intensitatea câmpului magnetic uniform reprezentată prin vectorul *H*, masa magnetică a unui pol *m* şi distanţa dintre cei doi poli ai acului *l*, momentul cuplului directiv *M* (fig.3-1) este:

$$M = ml\,H \sin\alpha$$

Produsul *ml* reprezintă momentul magnetic M_0 al acului, deci momentul cuplului directiv:

$$M = M_0\,H \sin\alpha$$

Se observă că la aceeaşi intensitate a câmpului magnetic uniform H, momentul cuplului directiv este funcţie directă de momentul magnetic al acului; această concluzie este de mare importanţă pentru asigurarea unei funcţionări eficiente a compasului magnetic la bord.

§3 Câmpul magnetic terestru. Declinaţia magnetică

1 Magnetismul terestru

Într-un loc îndepărtat de mase magnetice, un ac magnetic liber suspendat în centrul său de greutate, după câteva oscilaţii, se orientează într-o anumită direcţie în raport cu elementele punctului respectiv (planul meridianul adevărat, orizontul adevărat şi verticala locului). Dacă se repetă această operaţiune de câteva ori, acul magnetic reocupă de fiecare dată aceeaşi poziţie, cu condiţia de a nu fi supus vreunei influenţe magnetice perturbatoare. Acest fapt indică existenţa unui anumit câmp magnetic, care determină orientarea acului în modul arătat; forţa care acţionează asupra acului magnetic este *magnetismul terestru.*

Pământul cu atmosfera care îl înconjură se comportă ca un imens magnet natural. Cercetările efectuate au dus la concluzia că polii magnetici tereştrii se află la o anumită adâncime faţă de suprafaţa Pământului, iar poziţia lor are o variaţie lentă în timp; cele mai recente operaţiuni de determinare a poziţiilor proiecţiilor polilor magnetici pe suprafaţa Pământului indică următoarele coordonate:

– *polul nord magnetic* $\begin{cases} \varphi = 71^\circ \mathrm{N} \\ \lambda = 96^\circ \mathrm{W} \end{cases}$

– *polul sud magnetic* $\begin{cases} \varphi = 73^\circ \mathrm{S} \\ \lambda = 156^\circ \mathrm{E} \end{cases}$

Observând coordonatele geografice se constată că un pol magnetic nu se află la antipodul celuilalt, deci axa polilor magnetici nu trece prin centrul sferei terestre; axa polilor magnetici are o înclinare de aproximativ $11^\circ\,{}^3/_4$ faţă de axa polilor geografici.

În scopul de a se menţine denumirea polilor magnetici în funcţie de emisfera geografică în care se află, s-au stabilit în mod convenţional următoarele: *în polul nord magnetic terestru se află concentrat magnetism sudic, care atrage polul nord al acului magnetic liber suspendat; în polul sud magnetic terestru se află concentrat magnetism nordic, care atrage polul sud al acului magnetic.* Liniile de forţă magnetice se consideră deci că ies din polul sud magnetic şi intră în polul nord magnetic (fig. 3-2).

2 Elementele magnetismului terestru și relațiile dintre ele

Liniile de forță ale câmpului magnetic terestru converg spre cei doi poli ai săi. Direcția liniei de forță dintr-un anumit punct se determină cu ajutorul unui ac magnetic liber suspendat în centru său de greutate: acul se orientează pe direcția tangentei la linia de forță a magnetismului, în punctul considerat. Forța care acționează pe direcția tangentei la linia de forță într-un anumit punct, orientând acul magnetic, se numește *intensitatea magnetismului terestru (F)*.

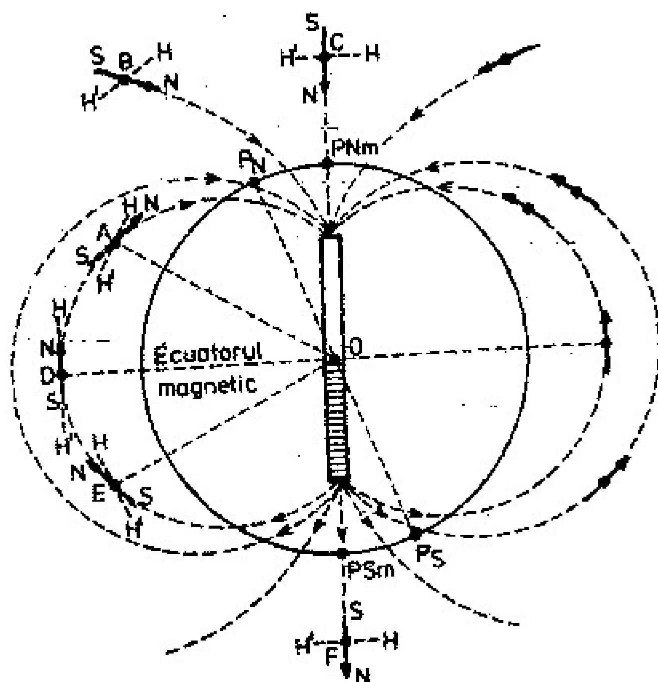


Fig. 3-2

Considerăm un ac magnetic liber suspendat în punctul A, în emisfera nordică (fig. 3-2); pentru simplificare, presupunem că axa polilor magnetici $(PN_m - PS_m)$ se intersectează cu axa polilor geografici în centrul sferei terestre. Direcția AO reprezintă verticala locului A, iar HH' orizontul său adevărat. Intensitatea magnetismului terestru (F) orientează acul cu axa sa magnetică pe direcția tangenei la linia de forță în punctul A; polul nord al acului magnetic se află sub orizontul adevărat.

Unghiul format între axa magnetică a acului liber suspendat și orizontul adevărat al locului se numește înclinație magnetică (θ). *Dacă polul nord al acului magnetic se află sub orizontul adevărat, înclinația magnetică se consideră pozitivă; dacă se află deasupra orizontului adevărat, înclinația magnetică se consideră negativă.*

Dacă deplasăm acul magnetic din A spre polul nord magnetic, înclinația magnetică crește. Acul magnetic plasat în punctul C, pe verticala polului nord magnetic, are înclinația de +90°.

Dacă deplasăm acul magnetic din punctul A spre ecuator, înclinația magnetică scade. Acul magnetic plasat în punctul D, în planul ecuatorului, se orientează în orizontul adevărat, înclinația magnetică fiind zero.

Locul punctelor de pe suprafața Pământului cu înclinația magnetică zero se numește *ecuator magnetic*; el este o curbă neregulată, care înconjoară Pământul în apropierea ecuatorului geografic.

În punctul E, aflat în emisfera sudică, acul magnetic se orientează cu polul său nordic deasupra orizontului; înclinația magnetică este negativă. Pe verticala polului sud magnetic, înclinația magnetică este -90°.

Ecuatorul magnetic împarte sfera terestră în două *„emisfere magnetice"*: *„emisfera magnetică nordică"*, ce conține polul nord magnetic și *„emisfera magnetică sudică"* ce conține polul sud magnetic. Denumirea lor de emisfere este improprie, deoarece ecuatorul magnetic este o curbă neregulată, iar axa polilor magnetici nu trece prin centru sferei terestre.

Curbele de egală înclinație magnetică se numesc *izocline*; dacă privim o hartă magnetică a izoclinelor, observăm că aceste curbe sunt aproximativ paralele cu ecuatorul magnetic. *De aceea, prin analogie cu paralele geografice, izoclinele sunt denumite și paralele magnetice, iar înclinația magnetică este numită și latitudine magnetică.*

În concluzie, înclinația magnetică (sau latitudinea magnetică) ia valori de la zero, pe ecuatorul magnetic, până la 90°, în polii magnetici; înclinația magnetică se consideră pozitivă, în emisfera magnetică nordică și negativă, în emisfera magnetică sudică.

Intensitatea magnetismului terestru este maximă în polii magnetici și minimă la ecuatorul magnetic. Curbele care unesc punctele de egală intensitate a magnetismului terestru se numesc *izodiname*.

Verticalul care trece prin axa magnetică a unui ac magnetic suspendat în punctul *O*, care se află numai sub acțiunea magnetismului terestru, se numește *planul meridianului magnetic*; intersecția dintre planul meridianului magnetic și planul orizontului adevărat se numește *meridian magnetic* (al punctului *O*), *linia N-S magnetic* sau *direcția nord magnetic* (fig.3-3). Perpendiculara pe linia N-S magnetic, în punctul O, se numește *linia E-W magnetic*, obținându-se astfel *roza direcțiilor magnetice* în orizontul adevărat.

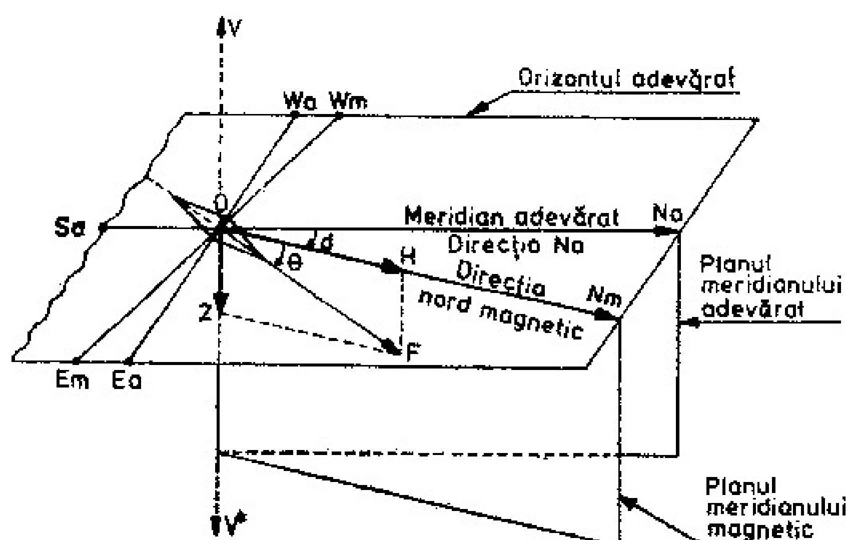


Fig. 3-3

Drumul navei, ca unghi în orizontul adevărat, având vârful în centrul de suspensie al acului magnetic, măsurat de la direcția nord magnetic până la axa longitudinală a navei, se numește *drum magnetic* (*Dm* – fig.3-24).

Intensitatea magnetismului terestru *(F)* poate fi descompusă în planul meridianului magnetic în două forțe componente: *componenta orizontală (H)* și *componenta verticală (Z)*. Relațiile pe care le exprimă sunt următoarele (fig. 3-3):

$$H = F\cos\theta \tag{3-1}$$

$$Z = F\sin\theta = H\,\mathrm{tg}\,\theta \tag{3-1'}$$

$$F = \sqrt{H^2 + Z^2} \tag{3-1''}$$

$$\mathrm{tg}\,\theta = \frac{Z}{H} \tag{3-1'''}$$

Componenta orizontală (H) constituie forța directivă a acului magnetic în orizontul adevărat, pe direcția nord magnetic; ea este maximă la ecuatorul magnetic *(H=F)*, descrește cu latitudinea magnetică și devine zero în polii magnetici. Acul magnetic nu poate fi folosit deci ca mijloc pentru determinarea direcțiilor în orizont în zonele din vecinătatea polilor magnetici, datorită reducerii componentei orizontale *(H)*, care acționează ca forță directivă.

Componenta verticală *(Z)* este zero la ecuatorul magnetic, crește cu latitudinea magnetică și devine maximă *(Z = F)* în polii magnetici.

Unghiul cu vârful în centrul de suspensie al acului magnetic, format în orizontul adevărat între direcția nord adevărat și direcția nord magnetic (fig.3-3), se numește declinație magnetică (d). Declinația se consideră *estică* sau *pozitivă*, dacă direcția nord magnetic se află la est față de direcția nord adevărat (cazul prezentat în fig. 3-3); o declinație estică de 7°10′ se notează: d = 7°10′ E sau d=+7°10′. Declinația se consideră *vestică* sau *negativă* , dacă direcția nord magnetic se află la vest față de direcția nord adevărat; o declinație vestică de 4°12′se notează: d = 4°12′W sau d=–4° 12′.

Declinația magnetică poate lua valori de la zero la 180° (fig3-4):

– în orice punct *A*, situat pe meridianul geografic care trece prin polul nord magnetic (în afara arcului de meridian P_N-PN_m care unește cei doi poli) declinația magnetică este zero;

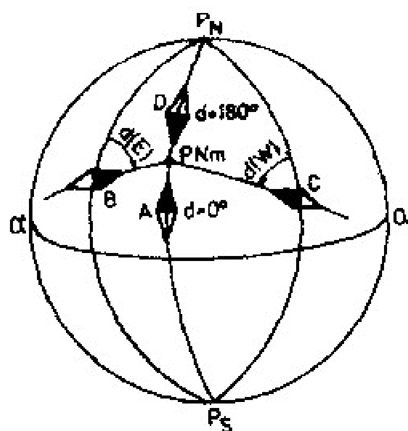


Fig. 3-4

– în orice punct *B*, declinația magnetică are o valoare oarecare, estică (pozitivă);

– în orice punct *C*, declinația magnetică are o valoare oarecare, vestică (negativă);

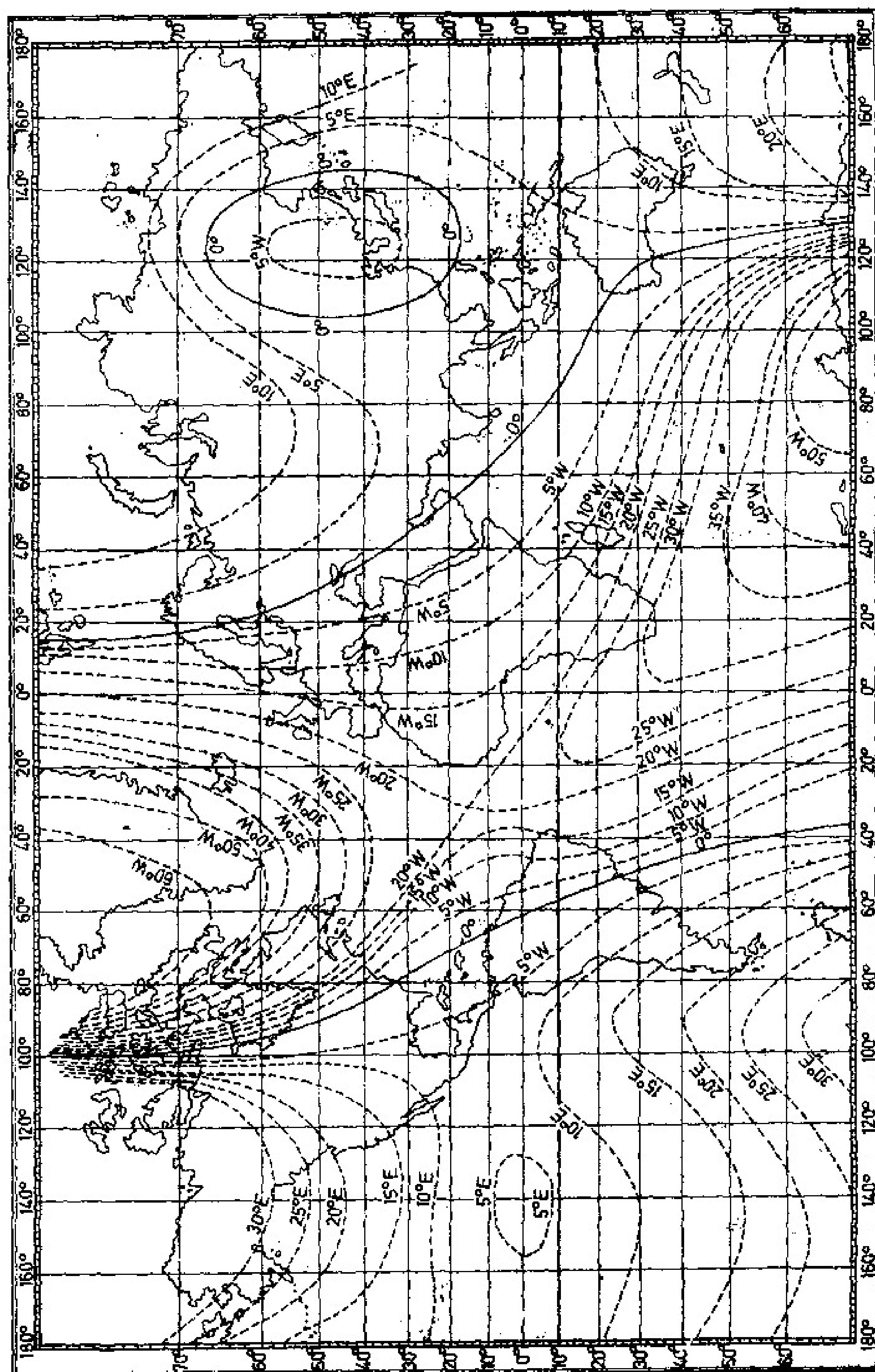


Fig. 3-5

– într-un punct oarecare *D*, aflat pe arcul de meridian geografic care unește polul nord geografic și polul nord magnetic, declinația magnetică are valoarea de 180°.

Curba care unește punctele de pe suprafața Pământului de egală declinație magnetică se numește *izogonă;* harta care reprezintă aceste curbe se numește *harta izogonelor*. Izogona de declinație zero se numește *agonă*. Figura 3-5 reprezintă *harta izogonelor*.

Intensitatea câmpului magnetic (F), înclinația magnetică (θ), *componenta orizontală (H), componenta verticală (Z) și declinația magnetică (d)* reprezintă elementele care definesc magnetismul terestru într-un anumit punct; ele variază de la un punct la altul, iar în același punct aceste elemente variază în timp.

Elementele magnetismului terestru care prezintă importanță în navigație sunt: *componenta orizontală (H) și declinația magnetică (d). Componenta orizontală este forța directivă care orientează acul magnetic în direcția nord magnetic; cu ajutorul declinației magnetice se determină direcția nord adevărat în raport de direcția nord magnetic, materializată de acul magnetic.*

3 Calculul declinației magnetice în navigație

Observând harta izogonelor (fig. 3-5) constatăm că în zonele navigabile ale mărilor și oceanelor, valoarea declinației magnetice prezintă variații însemnate; navigând de exemplu de pe coasta de est a Americii de Sud (unde declinația magnetică este 10° E) spre coasta de vest a Africii (declinația 25° W) variația declinației magnetice de-a lungul unei asemenea traversade atinge valoarea de 35°. De aceea, problema stabilirii unei valori cât mai exacte a declinației magnetice pentru zona în care se navigă prezintă o importanță deosebită pentru precizia determinării drumului navei.

Așa cum s-a arătat mai sus, declinația magnetică, ca și celelalte elemente ale magnetismului terestru, variază de la un loc la altul, iar pentru același loc, acestea variază în timp.

Declinația magnetică are variații zilnice, anuale și seculare. În zonele de navigație obișnuite, în afara celor din apropierea polilor magnetici, *variațiile zilnice* sunt neînsemnate.

Variațiile anuale, de mărimi care nu depășesc 15′, sunt menționate pe rozele magnetice conținute pe hărțile de navigație, alături de valoarea declinației magnetice pentru anul editării hărții. Hărțile engleze, de exemplu, folosite la bordul navelor noastre maritime comerciale, indică pe aceste roze magnetice următoarele elemente (fig. 3-6):

– *valoarea declinației magnetice (magnetic variation* sau *variation*; pe hărți este înscrisă de regulă prin prescurtarea *Varn.*), la precizie de 1′, pentru anul editării hărții;

– variația anuală aproximativă în minute, adică creșterea anuală *(increasing about... annually)* sau descreșterea anuală (*decreasing about... annually*).

Variația anuală în hărțile de navigație exprimă creșterea sau descreșterea declinației magnetice în valoare absolută.

Variațiile seculare sunt fenomene periodice. La Paris, de exemplu, în anul 1666 declinația magnetică era zero. Înaintea acestui an era estică, după aceea a devenit vestică; în anul 1814 a atins valoarea maximă (22°34′W), după care a început să descrească.

În afara acestor variații periodice, declinația magnetică poate prezenta și variații neregulate, uneori de valori considerabile, datorită unor fenomene naturale, ca: descărcări electrice în atmosferă, aurore boreale, erupții vulcanice etc.; aceste variații neregulate sunt denumite *furtuni magnetice*. În asemenea situații, declinația magnetică are o variație bruscă, iar după ce fenomenul care o generează încetează, își revine la valorea normală.

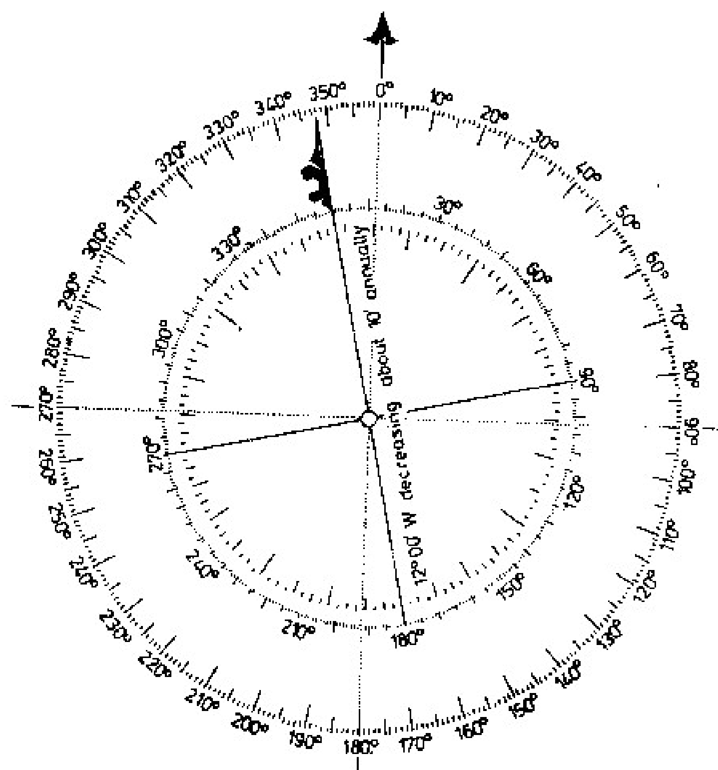


Fig. 3-6

Pe suprafața Pământului se întâlnesc și *zone cu anomalii magnetice*, menționate în hărțile de navigație (*abnormal magnetic variation*). În asemenea zone, valoarea declinației magnetice este diferită de cea indicată în hartă, datorită conținutului de minereuri magnetice din scoarța Pământului. Fenomenul se manifestă în zone cu adâncimi reduse și se poate ușor constata pe timpul navigației, când guvernarea navei se asigură prin compararea drumurilor indicate de compasul magnetic și cel giroscopic.*

---

* Extras din jurnalul de bord personal al autorului, comandant al m/n București: „18 sept. 1962, *Marea Roșie, în drum de la Port Sudan la Bombay, cu un caric de bumbac. Ora 10.10, în* Da = *144°, la circa 30 Mm sud de Jebel Tair, șeful timonier Ilie Sărmanu, comparând drumul cu cel indicat de compasul magnetic, constată o schimbare bruscă a drumului la compasul magnetic cu* ±2°.

Cercetând cartea pilot a zonei am găsit mențiunea că s-au mai constatat asemenea anomalii magnetice, cu valori până la 1°.5, în apropierea insulei Jebel Tair (în anii 1932 și 1934)".

În navigaţie, declinaţia magnetică pentru anul în curs necesară la determinarea drumurilor şi relevmentelor cu ajutorul compasului magnetic se calculează din indicaţiile conţinute în harta de navigaţie la roza magnetică cea mai apropiată de poziţia navei, astfel:

– se calculează *variaţia totală a declinaţiei*, înmulţind numărul de ani care au trecut de la cel indicat în hartă până la anul în curs, cu variaţia anuală (dată în hartă);

– se face suma algebrică a declinaţiei dată în hartă cu variaţia totală. Deoarece variaţia anuală indicată în hartă exprimă *creşterea* sau *descreşterea* declinaţiei magnetice în valoare absolută, adică *mărirea*, respectiv *micşorarea* unghiului pe care direcţia nord magnetic îl formează cu direcţia nord adevărat, în operaţiunea care se efectuează pentru calculul declinaţiei, variaţiei totale i se va da semnul următor:

Semnul declinaţiei (indicat în hartă)	$d(+)$		$d(-)$	
Semnul variaţiei anuale	creşte	descreşte	creşte	descreşte
Semnul variaţiei totale	+	–	–	+

Exemplul 1. Considerăm că se navigă într-o zonă în care pe hartă apare roza magnetică din figura 3-6, deci: declinaţia (*Varn*) pentru anul 1965 este 12° 00'W, descreşte anual aprox. 10' (*decreasing about 10' annually*). Se cere declinaţia magnetică pentru anul 1973.

Rezolvare:

$$d_{1965} = -12°00'$$
$$\underline{+\text{ var } (8 + 10') = +1°20'}$$
$$d_{1973} = -10°40' = -10°.7$$

Declinaţia magnetică se calculează la precizie de 0°.1

Exemplul 2

$d_{1953} = +1°12'$; descreşte anual 8'. Se cere declinaţia pentru anul 1973.

Rezolvare:

$$d_{1953} = +1°12'$$
$$\underline{+\text{ var } (20 \times 8') = -2°40'}$$
$$d_{1973} = -1°28' = -1°.5$$

Exemplul 3

$d_{1958} = -8°20'$; creşte anual 6'. Se cere declinaţia pentru anul 1973.

Rezolvare:

$$d_{1958} = +8°20'$$
$$\underline{+\text{ var } (15 \times 6') = -1°30'}$$
$$d_{1973} = -9°50' = -9°.8$$

§4 Magnetismul navei. Deviaţia magnetică

1 Generalităţi. Ipoteze fundamentale.

Fierul introdus în construcţia navelor a constituit o sursă de erori în folosirea acului magnetic pentru determinarea direcţiilor la bord. Studiul teoretic al fenomenului devierii acului magnetic la bord din planul meridianului magnetic sub acţiunea *magnetismului navei*, generat de materialele magnetice folosite la construcţia şi dotarea navei, a fost fundamentat de către *Airy* în anul 1838, constituind obiectul disciplinei „Teoria deviaţiilor şi compensarea compasului magnetic". În cele ce urmează ne propunem să prezentăm doar elementele principale, în măsura necesară înţelegerii bazelor teoretice ale funcţionării şi utilizării compasului magnetic la bordul navei.

Studiul teoretic al magnetismului navei şi al fenomenului devierii acului magnetic la bord se efectuează pe baza unor ipoteze fundamentale, stabilite pe cale experimentală; concluziile acestui studiu teoretic au fost confruntate prin observarea comportării acului magnetic la bord, astfel că în a doua jumătate a secolului XIX, întreaga problemă teoretică a deviaţiilor magnetice şi practica compensării compasului magnetic au fost soluţionate în mod satisfăcător.

Ipotezele fundamentale acceptate în studiul magnetismului navei şi al deviaţiilor magnetice sunt următoarele:

– câmpul magnetic terestru se consideră ca unică forţă magnetică inductoare la bordul navei;

– în spaţiul relativ restrâns ocupat de navă, câmpul magnetic terestru se consideră ca un câmp magnetic uniform;

– din punct de vedere magnetic, fierul de la bord se consideră de două categorii: fier tare (fier cu conţinut de carbon, adică oţelul şi fonta) şi fier moale (fier chimic pur);

– polul nord la magnetului indus în fierul de la bord se găseşte în partea în care acţionează polul nord magnetic terestru;

– sub acţiunea unui câmp magnetic uniform slab (cum este câmpul magnetic terestru), magnetizarea prin inducţie este instantanee şi proporţională cu intensitatea câmpului magnetic inductor;

– având în vedere dimensiunile reduse ale acului magnetic folosit la bord, câmpul magnetic al navei se consideră uniform. Această ipoteză permite să se studieze doar acţiunea lui asupra polului nord al acului magnetic de la bord, acţiunea asupra polului sud fiind în aceste caz egală şi de sens contrar;

– fierul moale de la bord se consideră de forma unor bare, orientate longitudinal, transversal sau vertical în navă. În studiul deviaţiilor se ia în considerare doar acţiunea polului magnetic indus în fierul moale care este cel mai apropiat de compasul magnetic; acţiunea celuilalt pol este egală şi de sens contrar;

– în studiul deviaţilor magnetice, nava se consideră în poziţie normală, fără înclinare, având puntea orientată în orizont.

Fierul tare de la bord, fierul cu conţinut de carbon (*oţelul, fonta* sau *oţelurile speciale* cu conţinut de *tungsten, molibden* etc.), are un proces de magnetizare îndelungat sub acţiunea câmpului magnetic inductor, însă îşi păstrează proprietăţile magnetice pentru

mult timp după ce acţiunea câmpului magnetic inductor încetează. Magnetismul indus în fierul tare de la bord generează *câmpul magnetic permanent al navei.*

Fierul moale de la bord, sub formă de bare (longitudinale, transversale sau verticale), se consideră că se magnetizează instantaneu sub acţiunea câmpului magnetic inductor; acelaşi fier îşi pierde însă proprietăţile magnetice de îndată ce câmpul magnetic inductor încetează de a mai acţiona. Magnetismul indus în fierul moale de la bord generează *câmpul magnetic temporar al navei.*

Proprietatea fierului de a-şi însuşi magnetismul indus mai repede sau mai lent este denumită *permeabilitate magnetică.* Rezistenţa pe care fierul o opune magnetizării prin inducţie se numeşte *forţă coercitivă.*

Potrivit ipotezelor fundamentale de magnetizare a fierului moale de la bord, atât magnetizarea, cât şi pierderea magnetismului indus sunt considerate ca fenomene instantanee. În realitate însă, ambele fenomene se produc cu o oareacare întârziere, depinzând de calitatea fierului moale, cât şi de o serie de alţi factori. Întârzierea cu care fierul moale de la bord se magnetizează din momentul în care este supus influenţei unui câmp magnetic inductor sau întârzierea cu care îşi pierde proprietăţile magnetice, de îndată ce acest câmp magnetic încetează de a mai acţiona, se numeşte *histerezis magnetic.*

Permeabiliatea magnetică a fierului de la bord, forţa coercitivă, cât şi fenomenul de histerezis magnetic depind în principal de următorii factori:

– de natura chimică a fierului, de gradul lui de omogenitate;

– de exercitarea unor acţiuni mecanice asupra fierului, capabile să producă vibraţii ca: ciocănirea, nituirea, raşchetarea etc... Experienţa arată că aceste acţiuni favorizează fenomenul de magnetizare prin inducţie, dacă în momentul în care încep să se producă fierul se află deja sub acţiunea câmpului magnetic inductor; dimpotrivă, ele se opun procesului de magnetizare prin inducţie, în cazul în care ele se produc înainte ca fierul să fie supus acţiunii câmpului magnetic inductor;

– fenomenul de magnetizare prin inducţie tinde să se diminueze cu creşterea temperaturii fierului (la suduri, coşul navei, tubulatura gazelor de evacuaţie a motoarelor etc.) şi practic dispare complet, când temperatura acestor părţi ale navei este foarte ridicată. Invers, o răcire bruscă a unei bare de fier de la bord tinde să menţină magnetismul deja indus.

Dacă după o încălzire excesivă a fierului de la bord se revine în scurt timp la temperatura pe care a avut-o, acesta îşi recapătă magnetismul iniţial (lucrări prin sudură, tubulatura gazelor de evacuaţie a motoarelor etc.)

2 Inducţia magnetică în fierul moale de la bord. Magnetismul temporar al navei

Dacă o bară de fier moale având secţiunea dreaptă S şi *coeficientul de capacitate inductivă* K este supus acţiunii de magnetizare prin inducţie a câmpului magnetic terestru de intensitate F, pe cale experimentală s-a constatat că forţa magnetismului indus f în această bară este exprimată de relaţia:

$$f = KSF,$$

dacă axa barei este orientată pe direcţia tangentei la liniile de forţă ale câmpului magnetic inductor.

În cazul în care axa barei de fier moale formează cu direcţia intensităţii câmpului magnetic inductor *F*, considerat uniform, un unghi α, s-a stabilit experimental că intensitatea *f* a magnetismului indus în bară este exprimată de ecuaţia (fig. 3-7):

$$f = KSF \cos\alpha \qquad (3\text{-}2)$$

unde expresia Fcosα reprezintă proiecţia intensităţii câmpului magnetic inductor pe axa barei de fier.

Considerând magnetismul terestru ca unicul câmp magnetic inductor al fierului de la bord, se poate afirma că într-un anumit loc şi într-o perioadă de timp limitată, atât intensitatea câmpului magnetic inductor *F*, cât şi coeficientul de capacitate inductivă *K* sunt constante: deci, intensitatea *f* a câmpului magnetic indus într-o bară de fier moale este proporţională cu cosinusul unghiului α, pe care axa barei îl face cu tangenta la liniile de forţă magnetice ale câmpului magnetic inductor.

Rezultă că inducţia magnetică este maximă când α =0°, deci când axa barei se află pe direcţia tangentei la liniile de forţă ale câmpului magnetic inductor; inducţia magnetică este nulă când liniile de forţă ale câmpului magnetic inductor sunt perpendiculare pe axa barei.

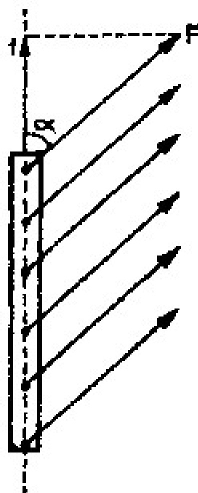


Fig.3-7

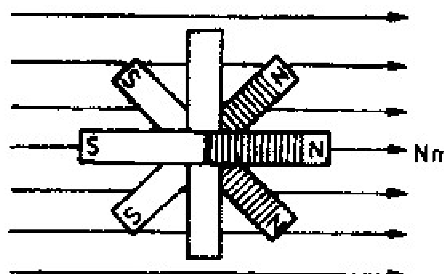


Fig. 3-8



Fig. 3-8b

Când nava se află într-o poziţie dreaptă, barele de fie. pot avea o orientare orizontală (punţi, curenţi longitudinali, traverse de punte, stringhere etc.) sau verticală (catarge, pereţi, pontili etc.); când nava se află într-o poziţie înclinată (dinamică, sub acţiunea valurilor şi vântului sau statică, determinată de condiţiile de încărcare), barele de la bord pot avea o poziţie oblică în raport cu sistemul de axe ale navei, care trec prin centrul de suspensie al acului magnetic de la bord (fig. 3-11: axa longitudinală X, transversală Y şi verticală Z).

Dacă bara de fier de la bord este orizontală, singura forţă inductoare este componenta orizontală *H* a magnetismului terestru; forţa magnetică indusă *f* în acest caz este:

$$f = KSH \cos\alpha$$

considerând α, unghiul pe care axa barei îl formează cu meridianul magnetic.

Este important de remarcat faptul că unghiul α, în cazul barei orizontale de la bord, este egal cu drumul magnetic al navei.

În concluzie, ecuația (3-3) arată că *intensitatea magnetismului temporar al navei indus în fierul moale dispus orizontal la bord variază în funcție de drumul navei și de latitudinea magnetică a locului la care se află nava* (în funcție de care variază H). *Direcția magnetismului indus în fierul moale dispus orizontal la bord se menține aceeași, atât timp cât poziția barelor în navă nu se modifică.*

Polaritatea magnetismului indus (fig.3-8 *a*) este determinată de poziția polilor câmpului magnetic inductor terestru: în capătul barei orientat spre polul nord magnetic terestru se formează un pol nord și invers

În cazul unei bare de fier dispusă vertical la bord (fig. 3-8 *b*), forța inductoare este componenta verticală a magnetismului terestru $Z = F \sin\theta = H \operatorname{tg}\theta$; forța magnetică indusă f în această situație este:

$$f = KSZ = KSH \operatorname{tg}\theta \qquad (3\text{-}4)$$

intensitatea magnetismului indus variind deci în funcție de latitudinea magnetică a locului. În emisfera magnetică nordică se formează un pol nord în capătul inferior al barei și un pol sud în capătul superior al acesteia; polaritatea este inversă în emisfera magnetică sudică.

În situația unei bare de fier moale de secțiune S, înclinată de un unghi i față de orizont, aceasta este magnetizată simultan sub acțiunea ambelor componente ale magnetismului terestru, H și Z (fig. 3-9).

Considerând β unghiul format de proiecția în orizont a barei cu direcția nord magnetic, magnetismul f' indus în bară de către componenta H a magnetismului terestru este:

$$f' = KSH \cos\beta \cos i \qquad (3\text{-}5)$$

Magnetismul f'' indus în bară de către componenta Z a magnetismului terestru este:

$$f'' = KSZ \cos(90° - i),$$

sau considerând pe $Z = H \operatorname{tg}\theta$ (relația 3-1′):

$$f'' = KSH \operatorname{tg}\theta \sin i \qquad (3\text{-}6)$$

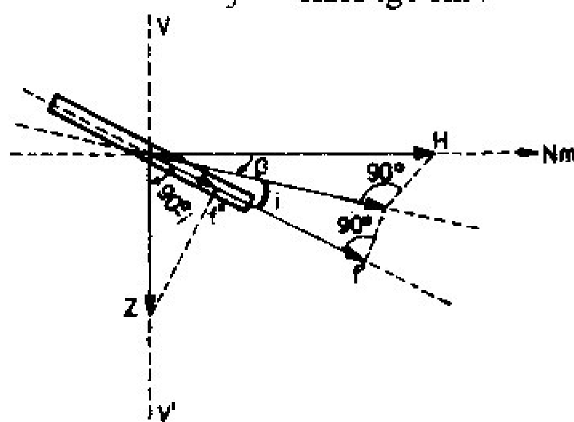


Fig. 3-9

Intensitatea f a magnetismului indus în bara înclinată sub acțiunea ambelor componente ale magnetismului terestru H și Z este dată de suma forțelor exprimate de egalitățile (3-5) și (3-6):

$$f = KSH \cos\beta \cos i + KSH \operatorname{tg}\theta \sin i \qquad (3\text{-}7)$$

Barele de fier moale de la bord ocupă o asemenea poziție înclinată față de orizont sau verticala locului, în următoarele situații:

– pe timpul balansului navei, sub acțiunea valurilor și vântului, pe timpul girației navei etc. În aceste situații unghiul i variază continuu;

– datorită stării de încărcare a navei, ca urmare a unei stabilități inițiale negative sau datorită unei repartizări asimetrice a greutăților la bord (consum combustibil inegal din borduri etc.). În această situație, unghiul i se menține același pentru mai mult timp, până când cauza care l-a generat încetează de a mai acționa

Însumarea maselor magnetice induse în multitudinea barelor de fier moale de la bord, în condițiile arătate mai sus și în virtutea ipotezelor fundamentale enumerate, generează *câmpul magnetic al navei.*

Câmpul magnetic temporar are o direcție constantă în navă atâta timp cât barele de fier își mențin poziția la bord; intensitatea câmpului magnetic temporar variază în funcție de drumul navei și de latitudinea magnetică (înclinația magnetică).

3 Câmpul magnetic permanent al navei

Fierul tare de la bord este supus aceleiași acțiuni de inducție magnetică sub influența câmpului magnetic terestru, arătată mai sus (punctul 2). Forța coercitivă a fierului tare fiind mai mare face ca procesul de magnetizare sub influența câmpului magnetic terestru (de o intensitate relativ redusă) să fie mai îndelungat, iar proprietățile magnetice însușite să fie păstrate pentru o perioadă mai lungă sau să devină chiar permanente. Însumarea maselor magnetice ale multiplilor magneți permanenți formați la bord generează *câmpul magnetic permanent al navei.*

Câmpul magnetic permanent se formează în perioada de construcție a navei când masele de fier tare de la bord sunt menținute timp îndelungat în aceeași poziție față de liniile de forță ale câmpului magnetic terestru

Intensitatea câmpului magnetic permanent al navei generat pe timpul construcției navei depinde de:

– orientarea calei pe care nava a fost construită în raport cu meridianul magnetic, funcție de care variază unghiul α (ecuația 3-3). În cazul unei cale de construcție orientată în meridianul magnetic, inducția magnetică este maximă în fierul tare longitudinal și nulă în cel transversal; într-o navă construită pe direcția E-W magnetic, inducția este maximă în fierul tare transversal și nulă în cel longitudinal;

– latitudinea magnetică a locului construcției, în funcție de care variază componenta H a magnetismului terestru (ecuația 3-3) și componenta Z (ecuația 3-4);

– tehnologia de construcție folosită (sudură, nituire etc.), capabilă să favorizeze procesul de magnetizare într-o măsură mai mare sau mai mică (vezi punctul 1).

Polaritatea magnetismului permanent al navei depinde, de asemenea, de orientarea calei de construcție față de meridianul magnetic (ecuația 3-3) și latitudinea magnetică a locului construcției (ecuațiile 3-3 și 3-4).

Considerând, de exemplu, o navă construită în emisfera magnetică nordică, pe o cală orientată cu prova în direcția nord magnetic, polaritatea magnetismului permanent al navei va fi următoarea (fig. 3-10 *a*):

– un pol nord plasat în partea inferioară a navei (funcție de latitudinea magnetică), în jumătatea dinspre prova;

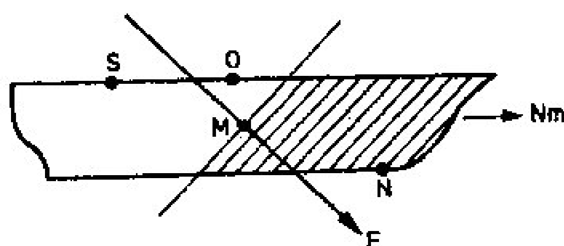


Fig. 3-10a

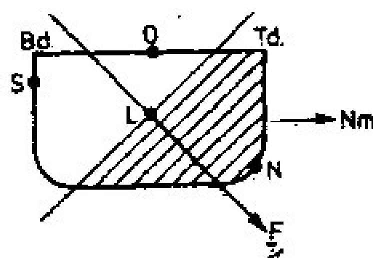


Fig. 3-10b

– un pol sud plasat în partea superioară a cocii navei, în jumătatea dinspre pupa. Polul nord al unui ac magnetic al cărui centru de suspensie se află în *O* va fi atras spre pupa de polul sud al magnetismului permanent al navei, fiind cel mai apropiat;

– o secțiune neutră, în planul perpendicular în *M* pe intensitatea magnetismului terestru *F*. Punctul *M* se consideră în cuplul maestru al navei.

Dacă o navă este construită pe o cală orientată cu prova pe direcția W magnetic, în emisfera magnetică nordică, polaritatea magnetismului permanent va fi următoarea (fig. 3-10 *b*):

– un pol nord în bordul *Td.*, plasat în partea inferioară a cocii navei (funcție de latitudinea magnetică);

– un pol sud în bordul *Bd.*, plasat în partea superioară a corpului navei. Polul nord al unui ac magnetic plasat în *O* va fi atras spre *Bd.* de polul sud al magnetismului permanent al navei fiind cel mai apropiat;

– o secțiune neutră, în planul perpendicular în *L* pe intensitatea *F* a magnetismului terestru.

Prin considerațiuni analoage se poate aprecia polaritatea câmpului magnetic permanent al navei la oricare altă orientare a calei de construcție și la diferite latitudini magnetice ale locului construcției.

După lansarea corpului navei de pe cala de construcție se observă o anumită diminuare a câmpului magnetic permanent format pe cală; de aceea, se recomandă ca pe timpul staționării în continuare în șantier în perioada de armare, nava să fie acostată având prova cu o orientare inversă față de cea avută pe cala de construcție. Această măsură va conduce la o reducere a intensității câmpului magnetic permanent al navei și deci la o reducere a influenței deviatoare a acestuia asupra compasurilor magnetice de la bord.

La terminarea perioadei de armare a navei în șantier și intrarea ei în exploatoare se poate considera practic că procesul de formare a câmpului magnetic permanent este încheiat.

Pe timpul exploatării navei, ca urmare a unor staționări îndelungate cu prova în aceeași direcție, pentru transportul de mărfuri cu proprietăți magnetice etc. și îndeosebi pe timpul reparațiilor în doc (prin nituire, sudură, ciocănire etc.), se generează de regulă un magnetism remanent care modifică câmpul magnetic al navei și deci condițiile de deviere a acului magnetic la bord. Efecte similare pot cauza vibrațiile provocate de elice, aparatul motor și loviturile valurilor pe vreme rea la traversade oceanice, când se menține același drum pe o durată mare. În studiul

magnetismului navei şi al influenţei lui deviatoare asupra acului magnetic de la bord, magnetismul remanent (având caracteristici intermediare între cel permanent şi cel temporar) se consideră însumat câmpul magnetic permanent.

Câmpul magnetic permanent este constant în navă, atât ca direcţie, cât şi ca intensitate; nu variază în funcţie de drumul navei şi nici de latitudinea magnetică a locului.

4 Câmpul magnetic al navei. Deviaţia magnetică

Însumarea câmpului magnetic permanent al navei cu cel temporar formează *câmpul magnetic al navei.*

Pentru a vedea care sunt forţele care acţionează în planul orizontal al centrului de suspensie al acului magnetic la bord *(O),* considerăm un sistem de axe ortogonale *X, Y, Z,* cu originea în punctul *O*, astfel (fig. 3-11):

– axa *X*, în axa longitudinală a navei (pozitivă spre prova);

– axa *Y*, în axa transversală a navei (pozitivă spre tribord);

– axa *Z*, perpendiculară pe punte (deci pe planul determinat de *X* şi *Y*), având sensul pozitiv spre nadir.

Când nava este în poziţie de echilibru, primele două axe sunt în orizontul adevărat, iar a treia este orientată pe verticala locului.

Considerând vectorul P_p reprezentând *câmpul magnetic permanent al navei şi* P_t *câmpul magnetic temporar,* rezultanta *P* exprimă *câmpul magnetic al navei.*

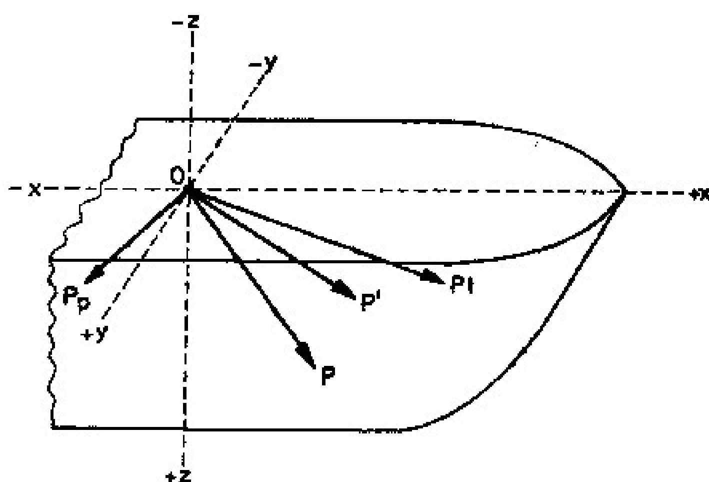


Fig. 3-11

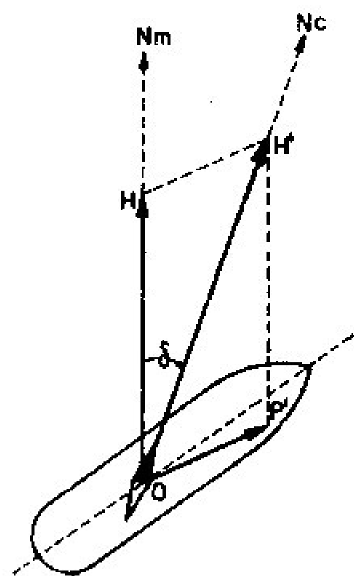


Fig. 3-12

Câmpul magnetic al navei preia caracteristicile celor două câmpuri componente şi anume:

– *are o direcţie fixă în navă în raport cu sistemul de axe X, Y, Z,* indiferent de drumul navei (pentru o anumită dispunere a maselor de fier de la bord);

– *are o intensitate variabilă, în funcţie de drumul navei şi de latitudinea magnetică la care se află nava.*

Acțiunea în orizont a magnetismului P al navei este reprezentată de componenta orizontală P', care este exprimată de relația:

$$P' = P\cos\gamma$$

unde γ reprezintă unghiul pe care îl face P cu orizontul, în punctul O; P'; reprezintă deci proiecția în orizont a lui P.

Acul magnetic liber suspendat la bord în centrul său de greutate 0 se află deci sub influența a două câmpuri magnetice: *câmpul magnetic terestru și câmpul magnetic al navei.*

Roza compasului magnetic cu sistemul ei magnetic este astfel construită și montată încât se menține orientată continuu în orizont (vezi § 5, p. 1). Axa sistemului magnetic al rozei N-S este orientată pe diametrul 0°–180° al acesteia; centrul de suspensie O este centrul geometric al rozei.

Roza menținându-se continuu în orizontul centrului de suspensie O, rezultă că sistemul magnetic al acesteia este orientat în orizont sub acțiunea a două forțe (fig. 3-12):

– componenta orizontală a magnetismului terestru H, care acționează constant în orizont pe direcția nord magnetic cu o intensitate variabilă funcție de latitudinea magnetică a locului;

– componenta orizontală a magnetismului navei și latitudinea magnetică a locului.

Axa sistemului magnetic al rozei se orientează deci pe direcția rezultantei H' a celor două forțe, denumită *forța directivă a acului magnetic la bord.*

Verticalul care trece prin axa magnetică *N-S* a rozei, respectiv diametrul 0° - 180° al acesteia, se numește *planul meridianului compas.*

Intersecția planului meridianului compas cu orizontul adevărat al rozei determină *meridianul compas* sau *direcția nord compas (O-Nc).*

Drumul navei, ca unghi în orizontul adevărat având vârful în centrul de suspensie al acului magnetic (centrul rozei), măsurat de la direcția nord compas până la axa longitudinală a navei, se numește *drum compas* (*Dc* – fig. 3-24).

Unghiul în planul orizontului cu vârful în centrul rozei, format între direcția nord magnetic și direcția nord compas, se numește deviația compasului magnetic sau *deviație magnetică* (δ). Deviația magnetică se consideră:

– estică sau pozitivă, dacă direcția nord compas este la est față de direcția nord magnetic (ex: $\delta = 3.5°E$ sau $\delta = +3.5°$);

– vestică sau negativă, dacă direcția nord compas se află la vest față de direcția nord magnetic (ex: $\delta = 2.4°W$ sau $\delta = -2.4°$);

În anumite condiții magnetice de la bord, deviația magnetică variază în funcție de:

– drumul navei, care determină o orientare diferită a componentei orizontale a magnetismului navei (P') față de meridianul magnetic, cât și o variație a intensității acesteia, datorită schimbării câmpului magnetic temporar al navei (vezi relația 3-3);

– latitudinea magnetică a locului, care determină variația magnetismului temporar al navei (vezi relația 3-4).

Pentru a vedea cum variază deviația magnetică și forța directivă H' în funcție de drumul navei, într-un anumit loc, vom considera componenta orizontală a câmpului

magnetic P' al navei orientată în axa longitudinală spre prova şi vom analiza modul de orientare a rozei compasului în drumurile principale (fig. 3-13).

În poziţia (1), nava cu prova în N magnetic, componenta P' este orientată în meridianul magnetic în aceeaşi direcţie şi sens cu H; forţa directivă a acului magnetic H' este maximă, egală cu suma celor doi vectori, iar deviaţia este zero.

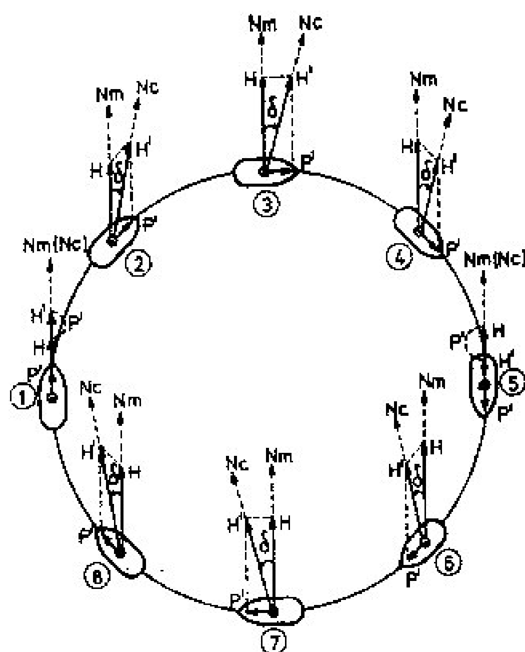


Fig. 3-13

În poziţia (3), nava cu prova în E magnetic, componenta P' acţionează perpendicular pe H, deviaţia magnetică are o valoare maximă pozitivă.

În poziţia (5), nava cu prova în S magnetic , componenta P' acţionează pe aceeaşi direcţie cu H, însă în sensuri opuse. Deviaţia magnetică este zero şi forţa directivă H' minimă, în cazul în care $H > P'$; forţa directivă H' poate fi de sens opus cu H , deci deviaţia magnetică este egală cu 180°, dacă $P' > H$.

În poziţia (7), nava cu prova în W magnetic, componenta P' acţionează perpendicular pe H, deviaţia magnetică este maximă negativă.

În poziţiile intermediare (2), (4), (6) şi (8), în drumurile magnetice intercardinale, deviaţiile magnetice iau valori intermediare faţă de cele în drumurile cardinale, de acelaşi semn.

Se observă deci că deviaţiile compasului magnetic la bord pot lua valori de la 0° la 180°; consideraţiuni asemănătoare se pot face indiferent de orientarea pe care o are P' faţă de axa longitudinală a navei.

Studiul analitic al deviaţiilor compasului magnetic constituie obiectul „Teoriei deviaţiilor şi compensarea compasului magnetic" .

Compensarea unui compas magnetic la bord urmăreşte două scopuri principale:

– a micşora deviaţiile compasului magnetic, prin inducerea compasului magnetic, prin reducerea pe cât este posibil a influenţei câmpurilor magnetice ale navei (permanent şi temporar), care dau naştere deviaţiilor;

– a micşora variaţia intensităţii forţei directive H' care orientează roza compasului magnetic, ca urmare a acţiunii forţelor deviatoare.

*Compensarea compasului magnetic se realizează prin reducerea influenței câmpurilor magnetice ale navei, care dau naștere deviațiilor, prin alte câmpuri magnetice create în apropierea rozei, de intensități cât mai apropiate și de sensuri opuse**.

Ca mijloace de compensare se utilizează magneți permanenți și „corectori" din fier moale (în formă de sfere, cilindri, bare sau lame), plasați în planul transversal al centrului rozei. Principiul care stă la baza utilizării mijloacelor de compensare este următorul : *forțele deviatoare generate de magnetismul permanent al navei se compensează cu magneți permanenți; forțele deviatoare provocate de magnetismul indus în fierul moale de la bord se compensează cu corectori din fier moale.* Magneții permanenți și corectorii din fier moale, folosiți pentru compensarea compasului magnetic, se dispun astfel față de roza compasului încât să genereze în diferitele drumuri ale navei niște câmpuri magnetice egale și de sens contrar cu câmpurile magnetice ale navei (permanent și temporar), sub a căror influență se formează deviațiile magnetice.

Deviațiile magnetice rămase după compensarea compasurilor magnetice de la bord se determină prin diferite procedee de navigație costieră, astronomică sau prin compararea drumurilor indicate de compasul magnetic și cel giroscopic, la aceeași orientare a axei longitudinale a navei (vezi cap. 25). Deviațiile astfel determinate se trec în „tabela de deviații" a fiecărui compas magnetic de la bord, care se afișează în camera de navigație. Tabela de deviații (vezi cap. 25) a unui compas magnetic de la bord conține deviațiile magnetice corespunzătoare drumurilor compas din 10° în 10°, de la 0° la 350°. Această tabelă permite obținerea deviației funcției pe drumul compas sau drumul magnetic al navei; în cazul când drumul compas sau magnetic pentru care se impune obținerea deviației nu este cuprins în tabelă, valoarea acesteia se stabilește prin interpolare.

Conform Normelor Registrului Naval Român, deviațiile maxime admise după compensare sunt de ±3° pentru *compasul etalon* și ±5° pentru *compasul magnetic de drum.*

Deviația magnetică are o variație armonică, așa după cum se poate vedea și din discuția la figura 3-13. „Teoria deviațiilor și compensarea compasului magnetic" stabilește că deviația într-un anumit drum este exprimată de ecuația:

$$\delta = A + B \sin Dc + C \cos Dc + D \sin 2\,Dc + E \cos 2\,Dc \qquad (3\text{-}8)$$

denumită *ecuația aproximativă a deviației* sau *ecuația lui Smith.* Este denumită „ecuația aproximativă a deviației" deoarece se verifică numai la deviații magnetice mici, nedepășind valoarea de ±20°; „ecuația exactă a deviației" este o expresie complexă, care nu are valoare aplicativă la compasurile compensate. Ecuația lui Smith satisface cerințele calculării deviațiilor la bord, deoarece în mod normal la un compas magnetic valoarea acestora nu depășește ± 5°.

---

* A se vedea și Gh. I. Balaban, *Conducerea navei*, Editura tehnică, București, 1963 (partea a III-a, „Deviația compasului magnetic. Compensarea").

În ecuația lui Smith, *Dc* reprezintă drumul compas al navei, iar *A, B, C, D, E* *coeficienții aproximativi ai deviației*, care se pot calcula din valoarea deviațiilor în drumurile cardinale și intercardinale, astfel:

$$A = \frac{\delta_N + \delta_E + \delta_S + \delta_W}{4} \tag{3-9}$$

$$B = \frac{\delta_E - \delta_W}{2}\ ; \qquad C = \frac{\delta_N - \delta_S}{2} \tag{3-9'}$$

$$D = \frac{(\delta_{NE} + \delta_{SW}) - (\delta_{SE} + \delta_{NW})}{4}\ ; \quad E = \frac{(\delta_N + \delta_S) - (\delta_E + \delta_W)}{4} \tag{3-9''}$$

Ecuația lui Smith poate fi utilizată la întocmirea *tabelei de deviații*, folosind deviațiile determinate în drumurile cardinale și intercardinale printr-un procedeu oarecare (vezi cap. 25), în scopul calculării prealabile a valorii coeficienților aproximativi (din relațiile 3-9).

În cele arătate mai sus s-au făcut considerații legate de variația deviației magnetice funcție de drumul navei. La navele de cursă lungă, o importanță deosebită prezintă și variația deviațiilor odată cu schimbarea latitudinii magnetice; observarea atentă a comportării compasului magnetic pe mare rea și a variației deviațiilor va trebui să stabilească necesitatea compensării lui sau a determinării deviațiilor.

Deviațiile compasurilor magnetice la bordul navelor maritime comerciale mai pot prezenta variații și ca urmare a următoarelor situații:

– la traversade oceanice, când se menține timp îndelungat același drum, datorită vibrațiilor cauzate de elice, mașini și sub efectul valurilor pe mare montată;

– când nava staționează timp îndelungat în aceeași direcție (la cheu, pentru operațiuni de încărcare sau descărcare, pe doc etc...);

– la schimbarea poziției maselor de fier de la bord (bigi, gruie etc), față de cea avută la determinarea deviațiilor. De aceea, pe timpul determinării deviațiilor toate masele de fier trebuie să fie puse la „postul de mare", poziții care trebuie menținute și pe timpul navigației;

– încărcarea la bord a unor mărfuri cu proprietăți magnetice (minereuri de fier, produse de oțel, fontă etc). În asemenea situații, după preluarea unor astfel de caricuri se impune determinarea deviațiilor după încărcare, înainte de plecarea navei în voiaj;

– utilizarea de macarale electromagnetice la încărcarea sau descărcarea navei. Pe timpul unor asemenea operațiuni se impune scoaterea cutiei compasurilor de la bord și păstrarea la uscat, pentru protejarea sistemului magnetic al rozelor și a dispozitivelor de suspensie a rozei;

– când corpul navei este supus la vibrații puternice: la andocarea navei , când se execută operațiuni de ciocănire, nituire, rașchetare etc.; când au loc explozii la bord; la eșuări pe fund de natură dură etc.;

– la variații mari de temperatură, suportate de corpul navei (reparații prin sudură, îndepărtarea baselelor la flacără etc.).

Dată fiind multitudinea cauzelor care pot determina variația câmpului magnetic al navei, pe timpul navigației se impune un control cât mai des al deviației magnetice (vezi cap. 25).

§5 Compasul magnetic (magnetic compass)

1 Descrierea compasului magnetic. Orientarea rozei în orizont

Părțile principale ale unui compas magnetic (fig. 3-14) sunt următoarele:

– roza compasului cu sistemul magnetic (1);

– cutia compasului cu sistemul cardanic (2);

– postamentul compasului (3);

– dispozitivele de compensare, formate din: pontilul tubular (4), suporții magneților de compensare longitudinali (de tipul *B*) și transversali (*C*), corectorul de bandă (*J*) și corectorii de fier moale (*D*);

– habitaclul (care nu apare în fig. 3-14), un capac de protecție care se montează deasupra cutiei compasului;

– instalația de iluminare, care se montează fie în partea inferioară a cutiei compasului, fie în habitaclu.

Figura 3-14 reprezintă o secțiune transversală într-un compas magnetic.

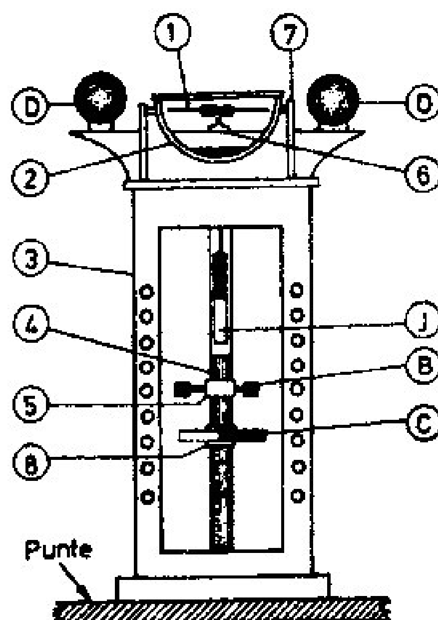


Fig. 3-14

După felul în care sunt construite cutia compasului și roza, compasurile magnetice sunt de două feluri:

– *compasuri uscate*, la care cutia compasului este uscată, iar roza este suspendată pe un pivot;

– *compasuri cu lichid*, la care cutia compasului este plină cu lichid format dintr-un amestec de apă distilată și alcool, într-o proporție determinată de temperaturile zonei de navigație, în care roza este afundată.

La bordul navelor noastre maritime sunt instalate numai compasuri cu lichid.

Roza compasului (fig. 3-15) este partea cea mai importantă a compasului magnetic și constă din:

– un disc (1) gradat în sistem circular de la 0°–360°, constituind roza propriu-zisă pentru citirea direcțiilor în orizont;

– flotorul (2), prevăzut în partea inferioară cu o scobitură de formă conică denumită *ceșculiță*, având în vârf o piatră dură, bine șlefuită, care se sprijină pe pivotul cutiei compasului (6) (fig. 3-14). Flotorul are funcția de a reduce presiunea și deci frecarea sistemului de sprijinire a rozei pe pivot. Capaciatatea flotorului este astfel calculată ca forța de împingere a lichidului de jos în sus să fie mai mică decât greutatea totală a rozei compasului, astfel ca aceasta să păstreze deci o flotabilitate ușor negativă;

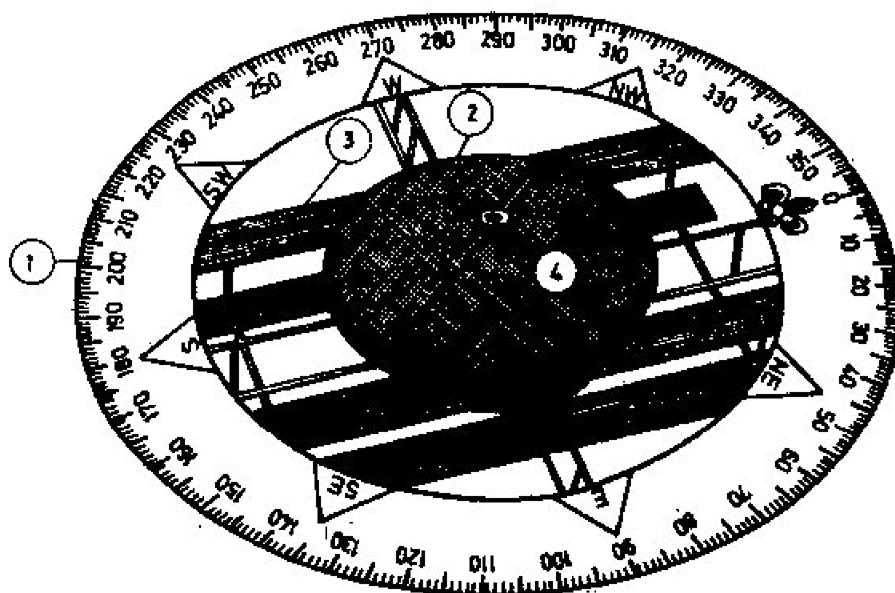


Fig. 3-15

– sistemul de ace magnetice (3), format dintr-un număr par de asemenea ace (în fig. 3-15 – patru ace magnetice), dispuse paralel și având nordul în același sens (spre gradația 0° a rozei). Diametrul care unește gradațiile 0° -180° ale rozei se confundă cu axa N-S a sistemului de ace magnetice.

Plasarea sistemului de ace magnetice în partea inferioară a rozei compasului, sub flotor și a punctului ei de sprijin pe pivot, în partea superioară, sub centrul geometric (4) al rozei, se face în ideea ca centrul de greutate al întregului sistem să fie sub punctul său de sprijin și pe aceeași verticală, astfel ca roza să se mențină continuu în orizont într-un echilibru stabil.

Pentru a analiza condițiile de echilibru a rozei compasului, o considerăm suspendată în punctul *O* (fig. 3-16). Ca la orice corp suspendat, condiția de echilibru stabil este ca centrul de greutate *G* să fie sub punctul de suspensie *O* și pe aceeași verticală.

Dacă intervine o cauză perturbatoare oarecare și înclină roza de un unghi *i*, forța *P* reprezentând greutatea rozei cu punctul de aplicație în centrul de greutate G, creează un *moment de stabilitate statică a rozei* (M_s), egal cu:

$$M_s = P \cdot \overline{GT} \tag{3-10}$$

care tinde să readucă roza în poziție de echilibru, în orizont. Considerând $GO = d$, relația devine:

$$M_s = Pd \sin i \tag{3-11}$$

La o înclinare oarecare *i* momentul de stabilitate statică a rozei este deci proporţional cu distanţa *(d)* dintre punctul de suspensie şi centrul de greutate.

Relaţia (3-11) este valabilă doar la compasurile uscate. La compasurile cu lichid, momentul de stabilitate generat de greutatea *P* (relaţia 3-11) i se opune momentul forţei de împingere a lichidului *Q*, cu punctul de aplicaţie în centrul de flotabilitate *C*. Considerând $OC = d_1$, *momentul de împingere* este Qd_1 sin *i*, iar *momentul de stabilitate statică a rozei la compasurile cu lichid* (M'_s) este exprimat de ecuaţia:

$$M'_s = (Pd - Qd_1)\sin i \qquad (3\text{-}12)$$

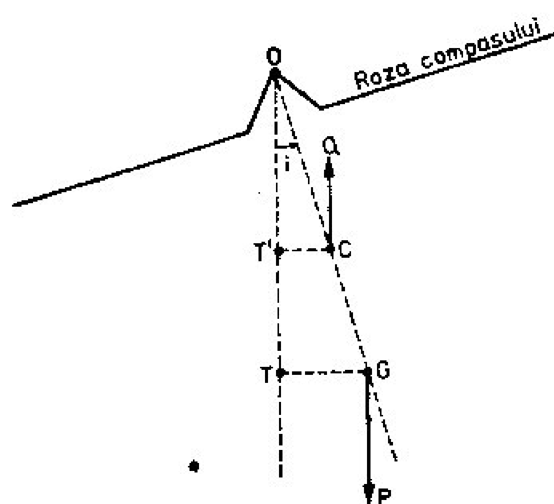


Fig. 3-16

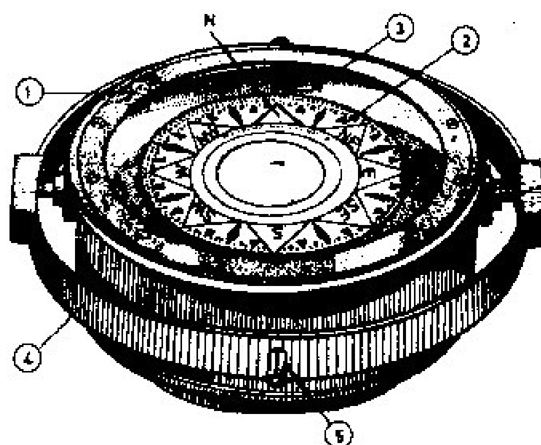


Fig. 3-17

Cutia compasului (1), figura 3-17, are axa de sprijin pe cercul cardanic (4) în partea sa superioară, în planul transversal al navei; dispozitivele de sprijin (5) ale cercului cardanic pe postamentul compasului se fixează în planul longitudinal al navei. Prin acest sistem de suspensie, cutia compasului devine stabilă în orizont, nefiind antrenată de mişcările de ruliu şi tangaj ale navei.

Rezultă că menţinerea rozei (2) în orizont este asigurată prin însumarea stabilităţii proprii cu cea a cutiei compasului.

În interiorul cutiei compasului, în poziţii diametral opuse, se află *liniile de credinţă* (3) ale compasului. Compasul se montează la bord astfel încât direcţia determinată de cele două *linii de credinţă* să se afle în planul diametral al navei, pentru ca influenţele câmpului magnetic la navei să fie simetrice. În mod normal, la bordul navelor maritime comerciale nu apar impedimente în realizarea acestui deziderat; la navele la care însă nu este posibilă o asemenea montare, compasul se instalează astfel ca direcţia determinată de liniile de credinţă să fie paralelă cu planul diametral al navei.

În dreptul *liniei de credinţă* (3) dinspre prova se citeşte pe roză drumul compas al navei.

Postamentul compasului (fig. 3-14) este din lemn sau dintr-un metal amagnetic. Partea superioară a postamentului, pe care se sprijină cercul cardanic al cutiei compasului şi corectorii *D* se numeşte *gulerul postamentului* (7). La baza postamentului se află o placă pentru fixarea pe punte.

Dispozitivele de compensare ale compasului (fig. 3-14) constau din :

– *magneți permanenți longitudinali* (denumiți magneți *B*), care se fixează pe suportul (5), mobil de-a lungul pontilului tubular (4);

– *magneți permanenți transversali* (magneți *C*), care se fixează pe suportul (8), mobil de-a lungul pontilului tubular (4).

Acțiunea magneților permanenți *B* și *C* pentru compensarea magnetismului permanent al navei variază în funcție de intensitatea lor, de numărul magneților folosiți și de distanța lor față de roză, care se reglează prin deplasarea suporților (5) și (8) de-a lungul pontilului tubular (4).

Există compasuri magnetice la care magneții *B* și *C* se introduc în niște orificii practicate în postamentul compasului în plan vertical și orientate longitudinal (magneții *B*) și transversal (magneții *C*) – în raport cu axele navei. La acest sistem, acțiunea magneților variază funcție de numărul lor și de depărtarea de roză a orificiilor folosite;

– *corectorul de bandă (J)*, un magnet permanent care se introduce prin partea superioară în pontilul tubular (4) și se fixează cu un lănțișor dintr-un metal amagnetic. Acțiunea lui față de sistemul magnetic al rozei în vederea compensării variază în funcție de orientarea polului nord al corectorului (în sus sau în jos) și a depărtării la care se fixează de roză;

– *corectorii de fier moale (D)*, fixați în plan transversal față de centrul rozei, care pot fi sub formă de sfere, cilindri, bare sau lame. Acțiunea lor asupra sistemului magnetic al rozei în vederea compensării magnetismului temporar al navei variază în funcție de: depărtarea de centrul rozei, în cazul folosirii de corectori sferici sau cilindrici; de lungimea barelor, când se utilizează corectori în formă de bare; de numărul lamelor introduse.

Unele compasuri au înspre prova sau înspre pupa un tub cilindric dintr-un metal amagnetic, în care se introduce „bara Flinders"; această bară este un corector de fier moale, a cărui acțiune în cadrul compensării poate fi făcută să varieze funcție de lungimea ei.

2 Compas etalon. Compas de drum

În funcție de locul de instalare și de modul de utilizare a compasului magnetic la bord se disting:

– *compasul etalon*, montat în planul diametral al navei pe *puntea etalon*, puntea cea mai de sus a navei, care oferă la bord locul de instalare cu influențe magnetice minime. Dealtfel, construcția și amenajarea acestei punți la navele construite din fier s-au făcut tocmai în ideea instalării „compasului etalon", compasul după care se controlează drumul navei și care se folosește pentru măsurarea relevmentelor la reperele de navigație.

Pentru măsurarea relevmentelor, compasul etalon este prevăzut cu o alidadă;

– *compasul de drum*, instalat în timonerie, în prova timonei, după care se asigură guvernarea navei. Indicațiile compasului de drum sunt controlate după compasul etalon.

Deoarece instalarea compasului de drum impune o serie de măsuri restrictive în construcția și amenajarea timoneriei, pentru limitarea influențelor magnetice, cât și datorită dificultății compensării acestuia, s-au realizat compasuri cu reflexie.

Compasul cu reflexie (reflector compass) (fig. 3-18) este o adaptare a compasului etalon pentru o funcție dublă: de compas etalon, pentru măsurarea relevmentelor și de compas de drum, pentru guvernarea navei.

Compasul cu reflexie se instalează pe puntea etalon, iar tubul telescopic (1) este trecut prin această punte, plasat astfel ca partea lui inferioară – prevăzută cu o oglindă orientabilă (2) să se afle într-o poziție convenabilă de observat de la timonă.

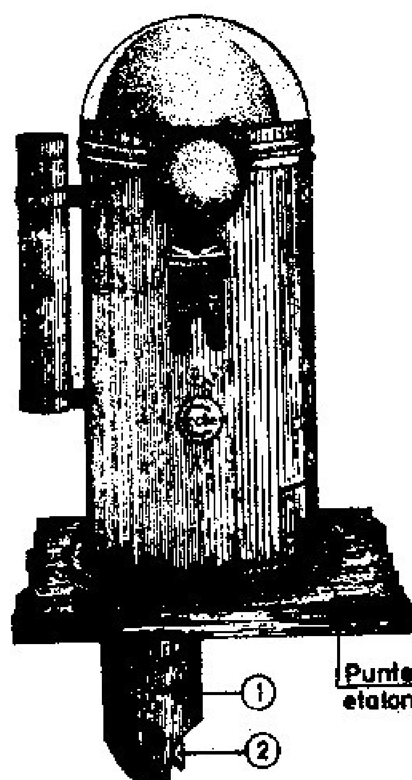


Fig. 3-18

Citirea drumului se face observând imaginea rozei în oglinda orientabilă (2), reflectată în aceasta de un sistem de lentile montate în tubul cilindric (1), care străbate postamentul compasului de sub cutie până la nivelul oglinzii. Lungimea tubului (1) se reglează funcție de înălțimea timonierului. Dispozitivul are un sistem de iluminare de intensitate reglabilă.

3 Principiul funcționării compasului la bord

Așa cum s-a arătat mai sus, prin modul de construcție a rozei și a cutiei compasului – cu sistemul ei cardanic, roza se menține în orizontul adevărat ; astfel, orientarea în meridianul compas a sistemului magnetic al rozei se face sub acțiunea rezultantei H' determinată de componentele orizontale H și P'.

Momentul magnetic al sistemului de ace magnetice al unei roze, denumit *momentul magnetic al rozei (Mr),* este reprezentat de suma momentelor magnetice ale acelor sistemului:

$$Mr = \sum ml \tag{13}$$

unde: m = masa magnetică a unui pol al acului magnetic considerat; l = distanța dintre cei doi poli.

În cazul unui compas magnetic compensat, dacă o forță perturbatoare oarecare intervine și scoate roza meridianul compas, rotind-o în orizont de un unghi α, se formează cuplul directiv (a se vedea formula 3-1):

$$M = Mr \cdot H' \sin \alpha \qquad (3\text{-}14)$$

care tinde să o readucă în meridian. Acesta este *momentul directiv al rozei* ce exprimă proprietatea rozei de a reveni în meridianul compas, atunci când a fost scoasă din echilibrul magnetic sub acțiunea unei forțe perturbatoare.

În același loc și în aceleași condiții la bord, momentul directiv al rozei este funcție de intensitatea acelor magnetice care intră în componența sistemului magnetic al rozei, de numărul și lungimea lor.

Sensibilitatea rozei este exprimată de unghiul minim (ε) de abatere a rozei din meridianul compas, prin rotirea ei în orizont, la care momentul directiv mai este capabil să o readucă în poziție de echilibru magnetic, în meridianul compas.

Chiar dacă Mr și H' au valori mari, la unghiuri $< \varepsilon$, momentul directiv al rozei devine atât de mic, încât el este anulat de acțiunea de frecare a sistemului rozei, astfel că aceasta nu mai poate fi readusă în meridianul compas. În consecință, dacă nava are o abatere de la drum mai mică decât unghiul ε sub acțiunea unei forțe perturbatoare oarecare (val, efect cârmă etc.), roza are tendința de a urma mișcarea navei – datorită frecării sistemului ei de suspensie, momentul cuplului fiind insuficient pentru a învinge o asemenea tendință și a menține roza în poziția ei de echilibru magnetic, în meridianul compas. Roza nu este deci capabilă să indice abaterile de la drum ale navei mai mici de unghiul ε, care reprezintă limita sensibilității ei.

La bordul navelor maritime, drumul se ține la precizie de $0°.5$, mărime unghiulară ce reprezintă limita superioară admisă pentru sensibilitatea unui compas magnetic. Sensibilitatea ε a unui compas este dată de formula:

$$\varepsilon = \frac{KI}{Mr \cdot H'} \qquad (3\text{-}15)$$

unde: K = coeficientul de frecare al sistemului de suspensie al rozei; I = momentul de inerție al rozei.

Formula (3-15) arată că pentru a se obține o sensibilitate favorabilă a rozei se impune:

– un moment magnetic mare al rozei, deci ace lungi cu o intensitate magnetică mare;

– frecare minimă, adică presiune minimă a ceșculiței rozei pe pivot, suprafață de contact minimă, dură și bine șlefuită.

Aceste condiții contradictorii și-au găsit soluția prin realizarea compasului cu lichid; acesta permite folosirea unor ace magnetice mai mari decât la compasul uscat, cu un moment magnetic considerabil superior, reducerea frecării pe pivot realizându-se prin alegerea unei capacități favorabile a flotorului rozei (care determină valoarea forței de împingere), în raport cu greutatea totală a sistemului rozei compasului.

La compasurile uscate, asigurarea unei frecări minime era realizabilă numai prin confecționarea unor roze ușoare, cu ace magnetice mici, având un moment magnetic redus.

Proprietatea rozei de a-și menține poziția orizontală, opunându-se forțelor exterioare care tind să o scoată din această poziție se numește *stabilitatea rozei*.

La bordul navei există o serie de cauze care pot scoate roza compasului din poziția sa de echilibru, astfel: ruliul și tangajul navei sub acțiunea valurilor, înclinarea navei sub acțiunea vântului și cârmei, vibrații cauzate de aparatul motor, elice, valuri etc. Toate aceste mișcări se transmit la roză într-o măsură mai mare sau mai mică, funcție de amplitudinea lor și de sistemul constructiv al compasului.

Stabilitatea rozei este influențată de o serie de factori, între care menționăm:

– stabilitatea statică a rozei (formulele 3-11 și 3-12). La compasurile uscate, aceasta depinde de greutatea rozei și de distanța dintre punctul de sprijin și centrul său de greutate. La compasurile cu lichid este funcție de greutatea rozei, capacitatea flotorului (care determină forța de împingere), poziția punctului de suspensie, a centrului de flotabilitate și a centrului de greutate;

– o serie de calități constructive ale compasului, spre exemplu, calitatea suspensiei cardanice, montarea cutiei compasului pe un sistem de resoarte pentru amortizarea vibrațiilor, afundarea rozei în lichid (la compasurile cu lichid) etc.

4 Utilizarea compasului magnetic la bord

Compasul magnetic servește la rezolvarea problemei fundamentale a navigației – *determinarea direcțiilor la bord* în *orizontul adevărat*, cu importanță practică, pentru:

– *guvernarea navei*, adică menținerea unui drum compas determinat, astfel ca nava să se deplaseze dintr-u punct în altul pe suprafața Pământului;

– măsurarea relevmentelor la obiecte: la reperele de navigație, în scopul determinării poziției navei; la nave, în scopul rezolvării problemelor de evitare a pericolului de coliziune, la operațiuni de salvare etc.

A *Guvernarea navei*

Compasul magnetic dă posibilitatea menținerii unui drum compas, corespunzător unui anumit drum adevărat, astfel ca nava să se deplaseze dintr-un punct în altul pe suprafața Pământului.

Drumul compas (Dc) este unghiul în planul orizontului cu *vârful în centrul rozei (O)*, format între direcția nord compas și axa longitudinală a navei, materializată prin *linia de credință (L)* a compasului; în figura 3-19 drumul compas $Dc = \sphericalangle Nc\ OL$.

Drumul compas *(compass course)* în care nava este guvernată la un moment dat, se citește la gradația de pe roză din dreptul *liniei de credință* dinspre prova.

Pe timpul girației navei, la schimbări de drum, roza se menține în orizont cu gradația 0°–180° (N-S) orientată în *direcția nord compas* (în meridianul compas), iar *linia de credință (L)*, marcată în interiorul cutiei compasului în planul diametral al

navei, urmează rigid mişcările navei în orizont. Când nava girează la tribord, drumurile compas cresc spre 360°, iar când girează la babord – scad spre zero.

Pe timpul giraţiei navei, funcţie de viteza de giraţie, citirea drumului compas la un moment dat conţine o anumită decalare, care reprezintă suma a două erori:

– *eroarea de histerezis magnetic*, determinată de întârzierea cu care barele de fier moale de la bord se magnetizează, funcţie de noua poziţie dobândită pe timpul

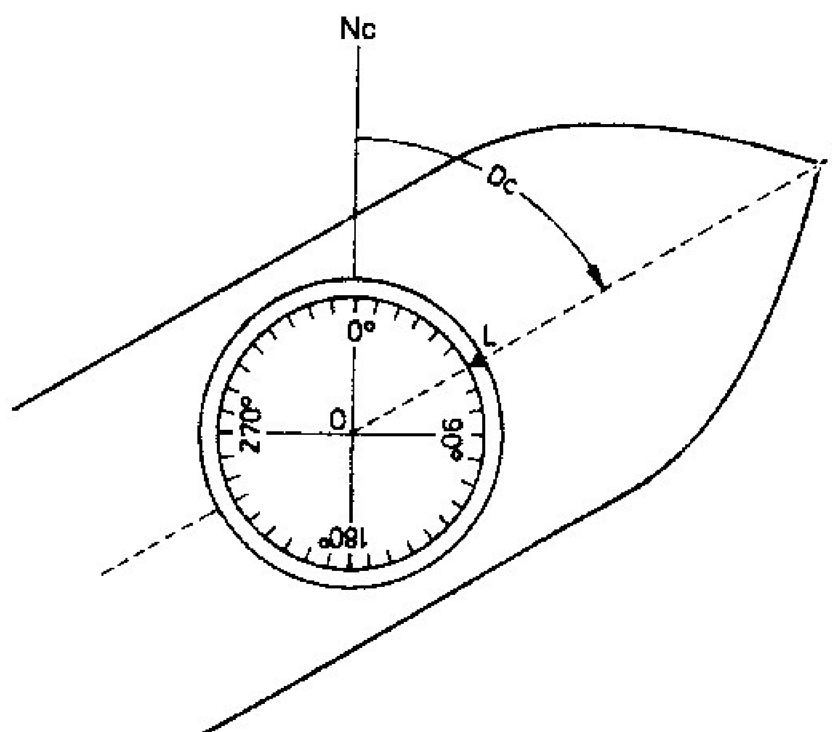


Fig. 3-19

giraţiei în raport cu liniile de forţă ale magnetismului terestru şi întârzierea cu care acestea îşi pierd magnetismului indus, corespunzător orientării avute, în raport cu aceleaşi linii de forţă (vezi §4, p. 1);

– *eroarea de antrenare a rozei* de către lichidul în care roza este afundată.

La navele maritime comerciale suma celor două erori poate atinge valori până la 5°-6°, depinzând în principal de viteza de giraţie a navei şi de sensibilitatea rozei.

Pe timpul guvernării navei în acelaşi drum compas, nava poate să aibă *„abateri de la drum"*, determinate de o serie de factori, între care principalii sunt: arta cu care timonierul ştie să manevreze cârma pentru menţinerea drumului, particularităţile constructive ale navei, efectul valurilor, efectul vântului, efectul evolutiv al elicii navei etc. Instruierea timonierilor pentru o guvernare corectă a navei constituie o sarcină importantă a comandantului şi ofiţerilor la bord; obţinerea de către timonieri a unor deprinderi corecte în guvernarea navei constituie într-adevăr valoarea unei arte, care se verifică îndeosebi în condiţii de mare montată şi la navigaţia pe canale, strâmtori etc.

Acurateţea cu care compasul magnetic indică micile abateri de la drum este funcţie de sensibilitatea rozei.

B *Deviația de bandă. Compensarea ei pe timpul navigației*

În condiții de ruliu pronunțat, oscilațiile mari ale rozei compasului într-un bord și în altul depășind abaterile normale de la drum ale navei constituie indiciul unor *deviații de bandă,* care se impun a fi compensate. Verificarea practică se face în felul următor: se pune prova pe un obiect îndepărtat (obiect de la coastă, navă la orizont etc.); în cazul unor deviații de bandă mari, se observă că la abateri neînsemnate de la drum ale navei, variațiile drumului compas în ambele sensuri sunt mai mari decât aceste abateri, ca urmare a oscilațiilor rozei în orizont.

O asemenea comportare a rozei constituie un indiciu cert al necesității compensării deviației de bandă. Aceste manifestări se diminuează odată cu reducerea amplitudinii ruliului și dispar în codiții de mare montată, atât pentru guvernarea navei, cât și pentru măsurarea relevmentelor; procedându-se la compensarea deviației de bandă, prin metoda redată mai jos, comportarea rozei devine normală, menținându-se deviațiile din *tabela de deviații* determinate în condiții de calm.

Compensarea compasurilor magnetice la navele maritime este efectuată în mod normal de către specialiști autorizați pentru asemenea operațiuni. Studiul teoriei deviațiilor și a compensării compasului magnetic constituie obiectul unei lucrări separate.

Având în vedere însă faptul că deviațiile de bandă variază considerabil cu latitudinea magnetică (chiar la un compas recent compensat), cunoașterea cel puțin a procedeului practic de compensare a acestor deviații constituie o obligație profesională pentru ofițerii de punte, la bordul unei nave maritime de cursă lungă.

În situații când compasul giroscopic este scos din funcție din motive tehnice, siguranța navigației în voiaje de cursă lungă, cu variații considerabile ale latitudinii magnetice sau cu schimbarea emisferei magnetice, este condiționată de efectuarea compensării deviației de bandă a compasului magnetic pe timpul navigației, când serviciile specialiștilor de la uscat nu mai pot fi solicitate.

Deviația de bandă (heeling erorr). Dacă nava se bandează de un anumit unghi, roza compasului rămâne în orizont ca urmare a stabilității ei; masa de fier de la bord își modifică însă poziția față de roză (vezi relația 3-7), determinând o anumită schimbare a acțiunii forțelor magnetice. Astfel, componenta verticală R a câmpului magnetic permanent al navei, care în poziție de echilibru a navei nu are nici o acțiune deviatoare, determină prin bandarea acesteia de un unghi i o componentă orizontală $Ri = R \sin i$, capabilă să devieze roza din meridianul compas (fig. 3-20). Unghiul de bandă i se consideră pozitiv pentru o bandă la tribord (fig. 3-20 *a*) și negativ, când nava se bandează la babord (fig. 3-20 *b*). Când unghiul de bandă în cele două borduri este egal, componenta orizontală generată Ri este egală și de sensuri contrarii, forța acționând în bordul opus înclinării.

Considerând δ_i = *deviația de bandă* (deviația compasului în poziția înclinată a navei) și δ = deviația în poziția de echilibru, variația deviației $\delta_i - \delta$ în poziția înclinată a navei în comparație cu cea de echilibru este dată de expresia:

$$\delta_i - \delta = -J \cdot i \cdot \cos Dm \qquad (3\text{-}16)$$

unde J = *coeficientul deviației de bandă,* care variază cu latitudinea magnetică.

Cunoscând deviația în poziție de echilibru a navei din „tabela de deviații" și deviația δ_i în poziție de înclinare a navei, se poate determina coeficientul *deviației de bandă.*

Formula (3-16) arată că variația deviației de bandă este :

– proporțională cu unghiul de bandă;
– maximă în drumurile magnetice N și S;
– zero în drumurile magnetice E și W.

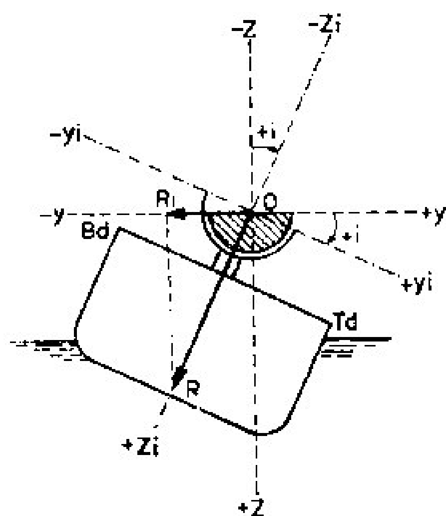


Fig. 3-20a

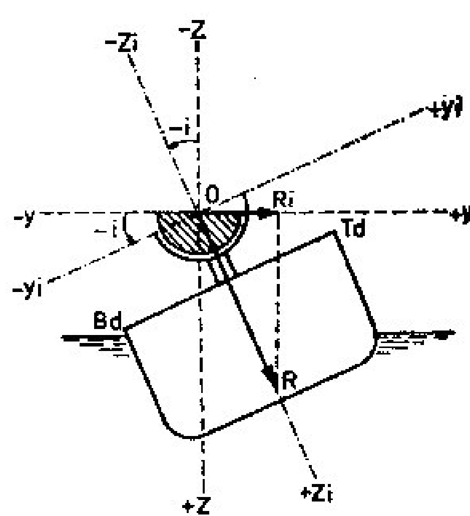


Fig. 3-20b

Semnul variației deviației de bandă se schimbă în funcție de bordul în care nava se înclină, fiind cel care rezultă din formula (3-16), considerând $+i$ când nava se bandează la tribord și $-i$, când nava dă bandă la babord. Rezultă că la un unghi de bandă egal în cele două borduri, deviația este egală și de semn contrar ; acest fapt explică oscilarea rozei în orizont într-un sens și în altul pe timpul ruliului, de unghiuri sensibil egale.

Coeficientul de bandă (J) la o anumită latitudine magnetică poate fi exprimat ca variația deviației ($\delta i - \delta$) pentru o înclinare de 1°, în drumurile magnetice N și S; se poate calcula după relația (derivând din 3-16):

$$J = -\frac{\delta_i - \delta}{i} \sec Dm \qquad (3\text{-}17)$$

Exemplu: $Dc = 0°$, nava înclinată la tribord de un unghi $i = 10°$. Deviația $\delta = +4°$ indicată în „tabela de deviații" pentru $Dc = 0°$; în comparație cu indicațiile compasului giroscopic, când nava se află înclinată 10°, la tribord, se stabilește $\delta i = +9°$. Să se calculeze J.

Rezolvare:

$$J = -\frac{9°-4°}{10°} \sec 0° - 0°.5$$

Compensarea deviației de bandă pe timpul navigației. Deviația de bandă se compensează cu *corectorul de bandă*, care este un magnet permanent (vezi pct. 1). Compensarea efectuată de către specialist (cu ajutorul *balanței magnetice*) este

valabilă numai la latitudinea magnetică respectivă. odată cu schimbarea latitudinii magnetice variază coeficientul de bandă *J*; pe măsura îndepărtării de latitudinea magnetică a locului compensării, deviația de bandă crește și roza compasului își manifestă instabilitatea în orizont, în condițiile arătate mai sus, pe mare agitată.

Compensarea deviației de bandă pe timpul voiajului se execută astfel:

– corectorul de bandă se plasează în pontilul tubular cu nordul în sus, în emisfera magnetică nordică și cu nordul în jos, în emisfera magnetică sudică (vezi relația 3-4 și considerațiile asupra polarității barelor verticale);

– se ia drum magnetic N sau S (în care deviația de bandă este maximă) sau un drum apropiat, într-o aliură față de val astfel ca nava să aibă un ruliu cu amplitudini cât mai mari;

– se mișcă corectorul de bandă în sus și în jos, în pontilul tubular, observând simultan comportarea rozei compasului. Corectorul de bandă nu se apropie la mai puțin de 60 cm de roză; dacă forța compensatoare trebuie mărită, în scopul evitării unei apropieri de roză sub distanța limită indicată, se folosește drept corector de bandă un magnet cu o intensitate mai mare sau acolo unde instalația permite, se utilizează mai mulți magneți (orientați cu nordul în același sens).

Procedeul indicat este simplu de executat și dă rezultate satisfăcătoare în practica navigației.*

---

* Pentru exemplificarea importanței asigurării la bord a unui compas magnetic menținut permanent în perfectă stare de utilizare (compensat și cu deviațiile determinate), chiar în condițiile dotării navei cu un compas giroscopic, redăm un extras din jurnalul de bord personal al autorului, comandant al navei OLTENIA (6021 tdw):

„4 ianuarie 1960. *Preiau comanda navei OLTENIA rămasă <<nava amiral>> a flotei noastre după «pensionarea» lui ARDEAL. Plecăm cu un caric ful de porumb cu destinația Aberdeen și Newcastle, urmând a încărca făină de grâu din Rouen și Dunkerque pentru Latakia (Siria).*

La plecarea din Constanța, vânt NNE forța 7, viscol; condițiile nu-mi permit executarea programului obișnuit plecărilor în voiaje: verificarea aparaturii de navigație, compensarea compasului magnetic și determinarea deviațiilor. Din documentele de la bord rezultă că ultima compensare era de o dată veche (circa trei ani în urmă); se pare că predecesorii mei credeau în «nemurirea» compasului giroscopic.

Tot voiajul de la Constanța la Dunkerque a fost un șir de furtuni violente, care nu au permis compensarea compasului. În Mediterana de vest, de la insula Galita la Cap de Gata, vânt NW forța 10-12; după cinci zile, când am reușit să intrăm la adăpostul coastei Spaniei, OLTENIA arăta ca ieșit din «linia întâi». De la Aberdeen la Newcastle, vânt ENE forța 8-11, ajungem la destinație după 42 ore în loc de 12 ore.

12 februarie *ora 20.40, la Dunkerque acostați în ecluză, gata de plecare. Se constată: diferență de circa 50° între compasul magnetic și cel giroscopic. Șeful electrician informează: defecțiune la compasul giroscopic, care nu poate fi remediată cu mijloacele bordului.*

A decide întoarcerea în port pentru remediere sau compensarea compasului magnetic, în situația în care ne aflam, ar fi avut implicații nedorite și foarte costisitoare. Decizia: plecăm, urmând a lua toate măsurile pentru siguranța navigației și a executa compensarea compasului și determinarea deviațiilor de îndată ce condițiile vor permite.

Urmăm pasa balizată de la ieșirea din Dunkerque și traversăm Canalul Mânecii spre coasta Angliei, în zona Dover, controlând drumul navei cu radiogoniometrul (cu radiofaruri în prova) și sonda ultrason. Vânt N forța 6, vizibilitatea 2-3 Mm, trafic intens. Astfel ne continuăm drumul până în sudul insulei Wight, unde în ziua de 13 februarie către ora 10.30, la distanța de circa 2 Mm, ne apare în vedere farul Catherine Point, printre pachete de ceață. În condiții foarte dificile

Dacă nava are o înclinare permanentă într-un bord, ca urmare a unei stabilități inițiale negative cauzată de modul de încărcare sau a repartiției transversale inegale a greutăților, se generează o deviație de bandă constantă; ea crește proporțional cu variația latitudinii magnetice. Compensarea se execută în modul arătat mai sus, în momentul în care se oferă condiții de ruliu.

C *Măsurarea relevmentelor la bord*

Relevmentele se măsoară cu ajutorul alidadei, ca *relevmente compas* sau ca *relevmente prova*. Figura 3-21 reprezintă o alidadă simplă.

Relevmentele compas (unghiul în orizont, cu vârful în centrul rozei, format între direcția nord compas și direcția la obiect) se măsoară cu ajutorul alidadei, montată pe compasul etalon. Pentru măsurarea relevmentului compas la un obiect se procedează astfel (fig. 3-21):

– se orientează alidada pe direcția obiectului, astfel încât centrul obiectului să fie vizat în planul vertical determinat de crestătura ocularului (1) și firul reticular al

---

de observație, determinăm deviațiile compasului cu o singură girație la tribord; deviații maxime de 9°, desigur, mărimile determinate cu valoare doar orientativă.

În noaptea de 13-14 februarie, la larg de Ouessant, ne angajăm în Biscaya; vânt WNW forța 8, valuri foarte mari, vizibilitatea bună. OLTENIA rulează violent, dând benzi de 25°-30°. Roza compasului oscilează nebunește; punem prova pe luminile unei nave la orizont și constatăm că abaterile de la drum ale navei ating valori de circa 5°, iar oscilațiile rozei de 15°-20° într-un bord și altul. Încercăm guvernarea navei menținând drumul ca medie față de pozițiile extreme ale oscilațiilor rozei, cu rezultate total nesatisfăcătoare.

Verificăm corectorul de bandă al compasului de drum și stupefacție: era fixat în locașul său cu nordul în jos, rămas probabil de la o compensare a deviației de bandă efectuată în emisfera sudică.

Întoarcem și luăm drum nord, cu «mașina redusă»; introducem corectorul de bandă cu nordul în sus și tatonăm poziția pe verticală a acestuia, în care roza devine stabilă, poziție în care îl fixăm.

Revenim la drum; ofițerul de cart se declară total satisfăcut. Mă duc să mă culc, eram pe comandă de la plecarea din Dunkerque.

În după-amiaza zilei de 16 februarie, în condiții favorabile, executăm determinarea deviațiilor compasurilor cu observații la farul Berlenga; epopeea ia astfel sfârșit, dar concluziile trebuie reținute, căci marea nu iartă în fiecare zi!

Concluzii:

– compasul giroscopic foarte util, precis ..., când se află în funcțiune. Poate „muri" însă, fără preaviz;

– compasul magnetic trebuie menținut compensat și cu deviațiile determinate, pentru controlul funcționării compasului giroscopic în navigație sau substituirea acestuia, în caz de defectare;

– compensarea trebuie efectuată în perioada favorabilă acestei operațiuni, orientativ în perioada aprilie-octombrie a anului. Controlul deviației trebuie efectuat continuu; determinarea deviațiilor de fiecare dată când, prin controalele efectuate, se constată diferențe față de deviațiile din tabelă;

– pe timpul navigației, guvernarea a se asigura printr-o comparație continuă a drumurilor indicate de compasul giroscopic și cel magnetic;

– în mod obligatoriu, comandanții și ofițerii de la bord trebuie să fie în măsură să efectueze compensarea de bandă pe timpul navigației."

obiectivului (2). Mânuierea alidadei pentru vizarea obiectivului se face astfel încât să se evite înclinarea acesteia;

– simultan cu vizarea obiectului, se citește relevmentul compas în prisma ocularului (3) , reprezentat de gradația rozei aflată în dreptul indicelui prismei; acest indice se află în planul de vizare al alidadei. Prisma are rolul de a mări imaginea rozei în dreptul ocularului, facilitând astfel citirea relevmentelor.

Relevmentele compas se citesc la precizie de 0°.5.

Pe timpul nopții, relevarea farurilor se efectuează prin orientarea alidadei în planul de vizare al semnalului luminos.

Relevmentele prova se măsoară în același mod, citirea unghiului față de planul diametral al navei făcându-se pe un *cerc azimutal*, gradat în sistem circular și montat pe cutia compasului etalon sau pe repetitoarelor compasului giroscopic instalate în borduri, pe puntea de comandă. Cercurile azimutale sunt orientate cu diametrul 0°–180° în planul diametral al navei (cazul cercurilor azimutale montate pe repetitoare).

Măsurarea relevmentelor prova se face astfel (fig. 3-22):

– se orientează alidada cu planul de vizare pe direcția obiectului, *menținând alidada în orizont;*

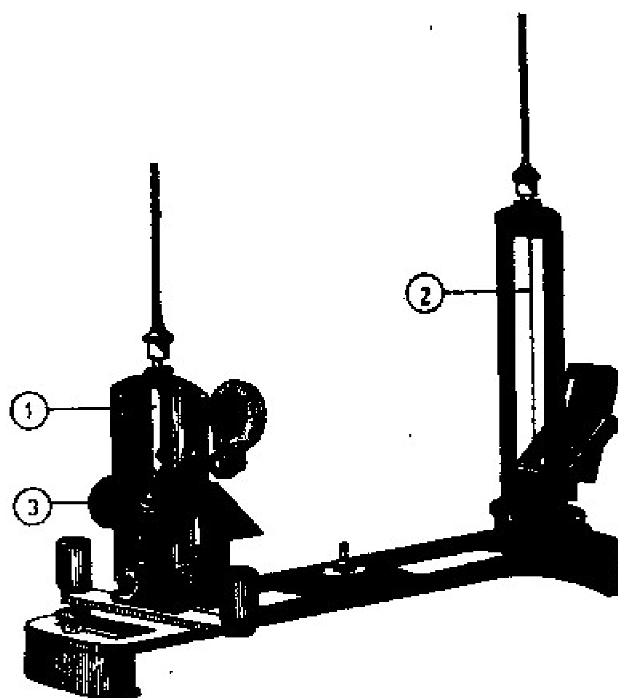


Fig. 3-21

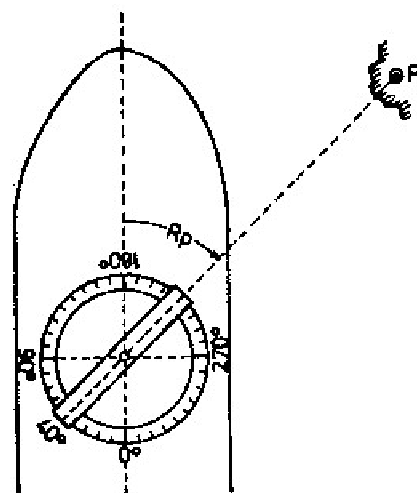


Fig. 3-22

– se determină relevmentul prova la obiect citind gradația de pe cercul azimutal aflată în dreptul indicelui ocularului. Pentru a se face citirea directă a relevmentelor prova, cercul azimutal se instalează cu gradațiile decalate cu 180°, astfel: 0° spre pupa, 180° spre prova, 90° travers babord și 270° travers tribord. În figura 3-22 relevmentul prova măsurat este de 40°.

În cazul în care interesează obținerea relevmentului compas simultan cu vizarea obiectului pentru măsurarea relevmentului prova , la semnalul „stop!" dat de către

observator, timonierul citește drumul compas la precizie de 0°.5. Relevmentul compas în acest caz se obține din relațiile (2-1 și 2-2):

$Rc = Rp + Dc$ (în cazul folosirii unui cerc azimutal gradat în sistemul circular);

$Rc = Dc \pm Rp^{Td}_{Bd}$ (în cazul utilizării unui cerc azimutal gradat în sistemul semicircular).

§6 Convertirea drumurilor și a relevmentelor

Așa cum s-a arătat mai sus, în centrul *O* al rozei compasului aflat în orizontul adevărat al acesteia se intersectează trei meridiane (adevărat, magnetic, compas), respectiv cele trei direcții nord pe care le determină și anume (fig. 3-23):

– direcția nord adevărat *(O – Na);*
– direcția nord magnetic *(O – Nm);*
– direcția nord compas *(O – Nc).*

Direcția nord magnetic este determinată în raport de direcția nord adevărat, în funcție de valoarea și sensul (semnul) declinației magnetice *d*; direcția nord compas

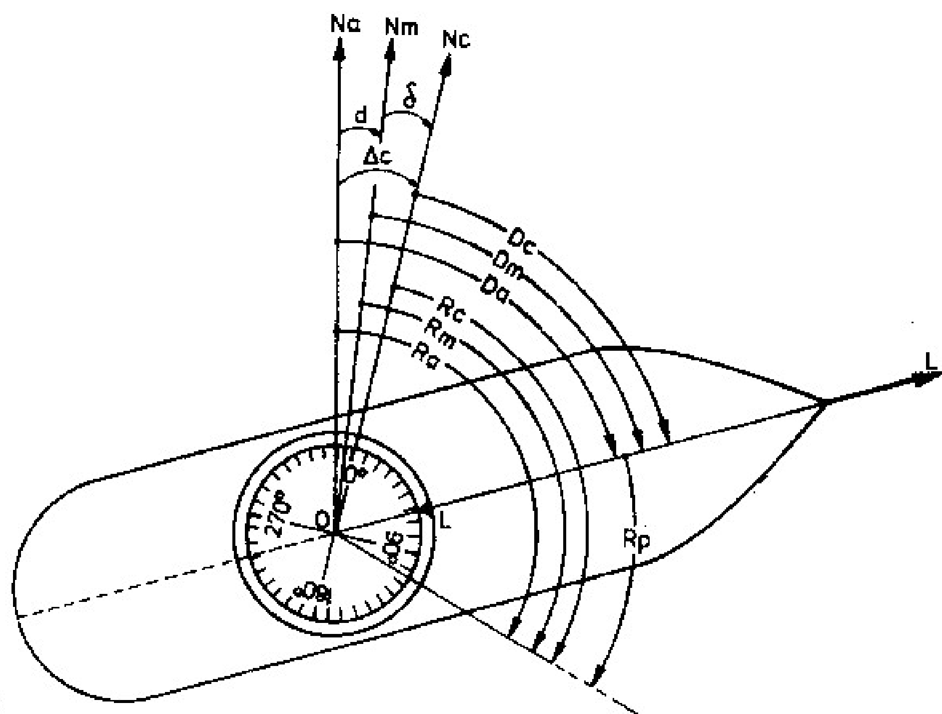


Fig. 3-23

este determinată în raport de direcția nord magnetic în funcție de valoarea și sensul (semnul) deviației magnetice δ. Suma algebrică a declinației și deviației se numește *corecția compasului:*

$$\Delta c = d + \delta \qquad (3\text{-}18)$$

reprezentând unghiul cu vârful în centrul rozei, format între direcția nord adevărat și direcția nord compas; direcția nord compas este la est (vest) față de direcția nord adevărat, dacă corecția compasului este pozitivă (negativă).

Drumul navei, ca unghi format în orizontul adevărat al rozei cu vârful în centrul acesteia *(O)*, ia denumirea meridianului de la care se măsoară şi anume:

– *drumul adevărat al navei (Da =∢ Na OL; true course)*

– *drumul magnetic al navei (Dm =∢ Nm OL; magnetic course);*

– *drumul compas al navei (Dc =∢ Nc OL; compass course).*

L este linia de credinţă a compasului, iar direcţia *OL* (centrul rozei – linia de credinţă) – materializarea axei longitudinale a navei.

Relevmentul la un obiect *F*, ca unghi format în orizontul adevărat al rozei cu vârful în centrul acesteia *(O)*, ia denumirea meridianului de la care se măsoară, astfel:

– *relevment adevărat (Ra =∢ Na OF; true bearing);*

– *relevment magnetic (Rm =∢ Nm OF; magnetic bearing);*

– *relevment compas (Rc =∢ Nc OF; compass bearing).*

În rezolvarea problemelor de drum şi determinare a poziţiei navei, în practica navigaţiei, se impune frecvent transformarea drumului (relevmentului) adevărat în drum (relevment) compas sau drum (relevment)magnetic şi invers. Astfel, pentru deplasarea navei dinr-un punct în altul, se scoate din hartă sau se calculează drumul adevărat care leagă cele două puncte; acesta se transformă în drum compas pentru guvernarea navei după compasul magnetic în scopul deplasării navei între cele două puncte. De asemenea, relevmente compas măsurate la diferite repere de navigaţie se transformă în relevemente adevărate, care se trasează pe hartă în scopul determinării poziţiei navei. Operaţiunea aceasta de transformare este denumită *convertirea drumurilor şi relevmentelor.*

Relaţiile pentru convertirea drumurilor sunt următoarele (a se urmări pe fig. 3-24):

$Da = Dm + d$ .... $Dm = Da - d$ (3-19)

$Dm = dc + \delta$ .... $Dc = Dm - \delta$ (3-20)

$Da = Dc + \delta + d$ sau $Da = Dc + \Delta c$ (3-21)

$Dc = Da - d - \delta$ (3-22)

Relaţiile (3-21) şi (3-22) au o importanţă deosebită în navigaţie; ele servesc la convertirea drumului compas în drum adevărat şi invers

Observând figura 3-24, se stabilesc următoarele *relaţii pentru convertirea relevmentelor*:

$Ra = Rm + d$ .... $Rm = Ra - a$ (3-23)

$Rm = Rc + \delta$ .... $Rc = Rm - \delta$ (3-24)

$a = Rc + \delta + d$ sau $Ra = Rc + \Delta c$ (3-25)

$c = Ra - d - \delta$ sau $Rc = Ra - \Delta c$ (3-26)

Formulele (3-25) şi (3-26) au o mare aplicabilitate în navigaţie, fiind folosite pentru convertirea relevmentelor compas în relevmente adevărate şi invers, în rezolvarea problemelor de determinare a poziţiei navei. De asemenea, o importanţă deosebită în navigaţie prezintă *relaţiile pentru calculul deviaţiei şi corecţiei compasului* şi anume:

$$\delta = Dm - Dc \text{ sau } \delta = Rm - Rc \quad (3\text{-}27)$$

$$\Delta c = Da - Dc \text{ sau } \Delta c = Ra - Rc \quad (3\text{-}28)$$

Formulele (3-27) se utilizează la aplicarea procedeelor pentru determinarea deviaţiilor compasului magnetic; formulele (3-27) şi (3-28) se folosesc pentru controlul deviaţiei, respectiv al corecţiei compasului, pe timpul navigaţiei.

Relaţiile pentru convertirea drumurilor şi relevmentelor menţionate mai sus se rezolvă algebric, declinaţia, deviaţia şi corecţia compasului intrând în calcul cu semnul algebric respectiv.

Calculele pentru convertirea drumurilor sunt simple: determinaea unor drumuri precise este însă de importanţă vitală pentru siguranţa navigaţiei, îndeosebi în apropierea coastei şi în general în zonele cu pericole de navigaţie. Au fost frecvente cazuri când, datorită erorilor în determinarea drumului navei s-au provocat dezastre maritime. Studiind originea acestora, se poate conclude că au existat cazuri când erorile au fost datorate superficialităţii cu care s-au efectuat calculele de convertire, tocmai pentru că au fost tratate ca nişte „probleme simple". De aceea, considerăm util a reaminti şi aici că problemele legate de determinarea drumului, de la scoaterea din hartă până la transmiterea lui către timonier pentru guvernarea navei, trebuie tratate cu o atenţie deosebită. Pentru exerciţiile care urmează, deviaţiile se scot din *tabela de deviaţii, capitolul* 25.

Exemplul 1. 15 mai 1973 . Pentru deplasarea navei din punctul *A* în punctul *B*, se scoate din hartă $Da = 151°$. Pe hartă, roza magnetică cea mai apropiată de poziţia navei indică:

$d_{1963} = -7° 50'$ descreşte anual $8'$.

Se cere D_c care urmează a se ordona timonierului.

Rezolvare: (formula 3-22, fig. 3-24):

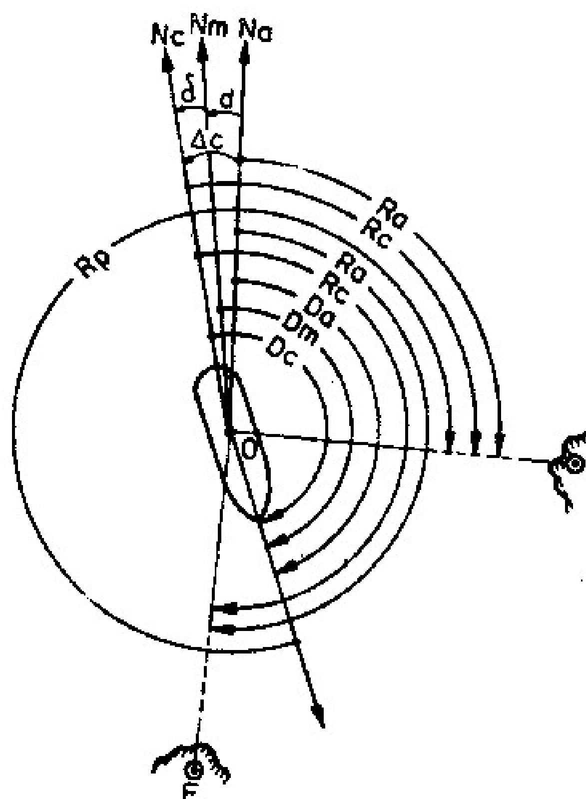


Fig. 3-24

Calculul Dc

$Da = 150°$
$\underline{-d = -6°.5}$
$Dm = 157°.5$
$\underline{-\delta = -3°.2}$
$Dc = 160°.7 \cong 160°.5$

Calculul d

$d_{1963} = -7°50'$
$\underline{+ var (10 \times 8') = +1°20'}$
$d_{1973} = -6°30' = -6°.5$

$\delta = -3.2°$ *se scoate din tabela de deviații*, în funcție de $Dm = 157°.5$.

Calculul *Dc* se face la precizie de 0°.1; el se ordonă timonierului rotunjit la precizie de 0°.5 (în exemplul dat *Dc* = 160°.5).

Exemplul 2. 15 mai 1973. Nava navigă în *Dc* = 161° în condițiile date în exemplul 1 și măsoară următoarele relevmente pentru determinarea poziției navei:

– la farul F.................................... *Rc* = 192°.5în *Dc* = 161°;

– la farul T...................................... *Rp* = 303° și simultan (la „stop!"), timonierul citește drumul compas în care se afla nava în acel moment, *Dc* = 160°

Se cer *Ra* corespunzătoare care urmează a fi trasate pe hartă.

Rezolvare (formula 3-25 și 2-1):

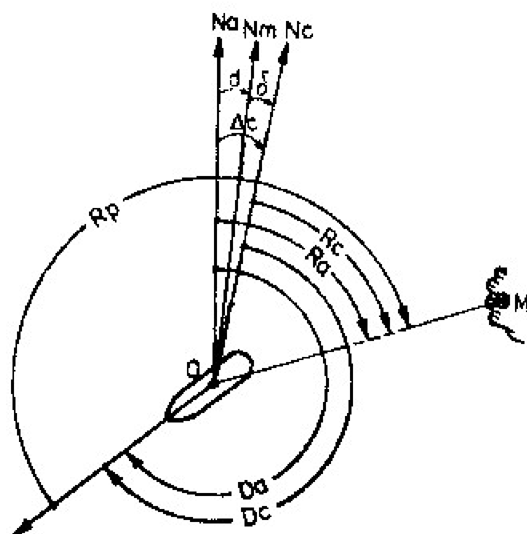


Fig. 3-25

Calculul Ra la farul *F* (fig. 3-24):

$Rc = 192°.5$
$\underline{+ \Delta c = -9°.7}$
$Ra = 182°.8$

Calculul Δc

$d = -6°.5$
$\underline{+ \delta = -3°.2}$ pt. $Dc = 161°$
$\Delta c = -0°.7$

Calculul Ra la farul *T* (fig. 3-24):

$Rp = 303°$
$\underline{+ Dc = 160°}$
$Rc = 463°$
$\underline{-360°}$
$Rc = 103°$
$\underline{+ \Delta c = -9°.7}$
$Ra = 93°.3$

Calculul Δc

$d = -6°.5$
$\underline{+ \delta = -3°.2}$ pt. $Dc = 160°$
$\Delta c = -9°.7$

Exemplul 3. 20 mai 1973. Se ia $Dc = 235°$. Roza magnetică cea mai apropiată de poziţia navei, pe hartă, indică: $d_{1958} = -0°30'$ descreşte anual 10′. Se cere *Da* care trebuie trasat pe hartă.

Rezolvare: (formula 3-21, fig. 3-25):

Calculul Da	*Calculul d*	*Calculul Δc*
$Dc = 235°$	$d_{1958} = -0°30'$	$d = +2°$
$\underline{+\Delta c = +3°\cdot 2}$	$\underline{+ \text{var } (15 \times 10') = +2°30'}$	$\underline{\pm \delta = +1°{:}2}$ ... pt. *Dc = 235°*
$Da = 238°\cdot 2$	$d_{1973} = +2°00'$	$\Delta c = +3°\cdot 2$

Exemplul 4. 20 mai 1973. Nava merge în $Dc = 235°$, în condiţiile date în exemplul 3. Când farul *M* se vede în $Ra = 73°$ (scos din hartă), nava trebuie să schimbe de drum. Se cere *Rc* şi *Rp* în care trebuie relevat farul *M* în momentul schimbării de drum.

Rezolvare: (formulele 3-26, 2-1 şi fig. 3-25):

Calculul Rc	*Calculul Δc*	*Calculul Rp*
$Ra = 73°$	$d = +2°$	$Rc = 70°$
$\underline{-\Delta c = \pm 3°.2}$	$\underline{+\delta = 1°.2}$	$\underline{+360°}$
$Rc = 69°.8 \cong 70°$	$\Delta c = +3°.2$	$430°$
		$\underline{-Dc = 235°}$
		$Rp = 195°$

4 DETERMINAREA DIRECȚIILOR LA BORDUL NAVEI CU COMPASUL GIROSCOPIC

§1 Generalități

Funcționarea *compasului giroscopic* (*gyro-compass*), denumit și *girocompas*, se bazează pe proprietățile mecanice ale *giroscopului. Giroscopul* este constituit în principal dintr-un *tor* (1) – un corp rotund, masiv, având masa uniform repartizată în raport cu *axa de rotație proprie AB* și un sistem de suspensie cardanică (fig. 4-1). Torul este capabil să execute o mișcare de rotație rapidă în jurul axei sale de simetrie, cu frecări minime, practic considerate neglijabile.

Sistemul cardanic constă din două cercuri mobile: *cercul cardanic orizontal* (2), care se poate roti în jurul axei *CD* și *cercul cardanic vertical* (3), orientabil în jurul axei *EF*.

Cele trei axe ale giroscopului *AB, CD* și *EF* le considerăm definite de sistemul ortogonal *XX', YY'* și *ZZ'*.

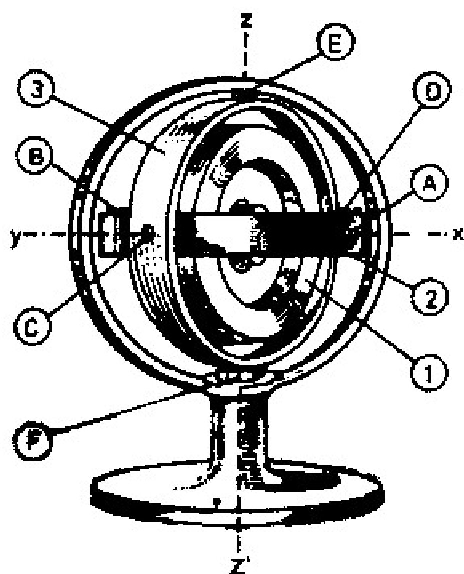


Fig. 4-1

Torul, de forma unui disc cu o coroană circulară periferică, masiv, poate executa următoarele mișcări:

– o rotație proprie, rapidă, în jurul axei *XX'*, denumită *axa de rotație proprie, axa de simetrie* sau *axa principală* a giroscopului;

– o rotație în jurul *axei orizontale YY'*, permițând axei principale a giroscopului să se orienteze în raport cu orizontul adevărat al locului;

– o rotație în jurul axei verticale *ZZ'*, care face posibilă orientarea axei principale a giroscopului în raport cu meridianul adevărat al locului.

Un asemenea giroscop, a cărui axă principală poate lua orice orientare în spațiu, se numește *giroscop cu trei grade de libertate sau giroscop liber*. La un giroscop liber, originea celor trei axe ale sistemului ortogonal trebuie să se confunde cu centrul geometric al giroscopului, care constituie în același timp atât centrul de greutate al sistemului, cât și centrul său de suspensie; la un astfel de giroscop, momentul forței gravitaționale este nul, brațul forței fiind zero.

Un giroscop cu trei grade de libertate mai poate fi definit și ca un solid de rotație suspendat în spațiu, fără nici o legătură rigidă. Pământul, deci, animat de mișcarea sa diurnă de rotație se comportă ca un enorm giroscop liber.

Gradele de libertate ale unui giroscop se pot reduce la două sau chiar la unu. Astfel, dacă axa de rotație proprie *AB* este în orizont și se blochează axa orizontală *CD*, giroscopul se poate roti numia în jurul axei principale *XX'* și a axei verticale *ZZ'* menținându-se continuu în orizont; un asemenea giroscop are *două grade de libertate*. Dacă se blochează atât axa *CD* cât și *EF*, se obține un *giroscop cu un grad de libertate*, care se poate roti numai în jurul axei *XX'*.

Este posibil însă ca unul din gradele de libertate ale giroscopului să nu fie anulat, ci numai *limitat*. La un astfel de giroscop, în poziția în care este *liber*, momentul forței exterioare este nul; la ieșirea din această poziție, momentul generat de forța exterioară tinde să readucă axa principală a giroscopului în poziția sa inițială. Un asemenea giroscop este cel folosit la realizarea compasului giroscopic.

La majoritatea compasurilor giroscopice folosite la bordul navelor viteza de rotație a giroscopului este în jur de 20000 de rotații/minut, torul constituind el însuși rotorul unui motor electric. În cele ce urmează se vor reda doar noțiunile necesare înțelegerii bazelor determinării direcțiilor la bordul navei cu ajutorul compasului giroscopic, convertirii drumului și relevmentelor, precum și a erorilor care pot afecta indicațiile acestui compas pe timpul navigației.

Pe cale experimentală s-a demonstrat că, dacă unui giroscop liber i se imprimă un număr foarte mare de rotații, acesta se comportă de o manieră proprie, manifestată prin două proprietăți fundamentale: *inerția giroscopică și precesia*; realizarea compasului giroscopic are la bază aceste proprietăți.

În cele ce urmează, extremitatea axei principale a giroscopului de unde torul se vede rotindu-se în sensul acelor unui ceasornic (sens retrograd) se notează cu *A*, iar cea opusă cu *B*; de asemenea, se mai precizează:

– momentul unei forțe se consideră pozitiv, dacă provoacă o mișcare de rotație în sensul retrograd și negativ, dacă rotația determinată este în sens direct;

– vârful vectorului care reprezintă viteza unghiulară de rotație se consideră în acea parte, de unde privind spre punctul său de aplicație, rotația se vede în sens retrograd.

§2 Proprietățile fundamentale ale giroscopului cu trei grade de libertate

1 Inerția giroscopică

Experimental se demonstrează că, dacă unui giroscop cu trei grade de libertate i se imprimă o mișcare rapidă și continuă de rotație, acesta are proprietatea de a-și menține axa de rotație proprie paralelă cu ea însăși, indicând aceeași poziție în spațiu. Această tendință se numește *inerție giroscopică;* ea constituie una din cele mai elocvente probe mecanice ale legilor mișcării Pământului în jurul axei sale de rotație.

Pentru a vedea modul în care se manifestă inerția giroscopică, vom considera giroscopul cu trei grade de libertate funcționând la diferite latitudini ale Pământului.

Presupunem giroscopul situat într-un punct *F* al ecuatorului terestru, orientat cu axa sa principală în orizontul adevărat, pe direcția est-vest, cu extremitatea *A* spre est; figura 4-2 reprezintă o proiecție pe planul ecuatorului din polul nord terestru.

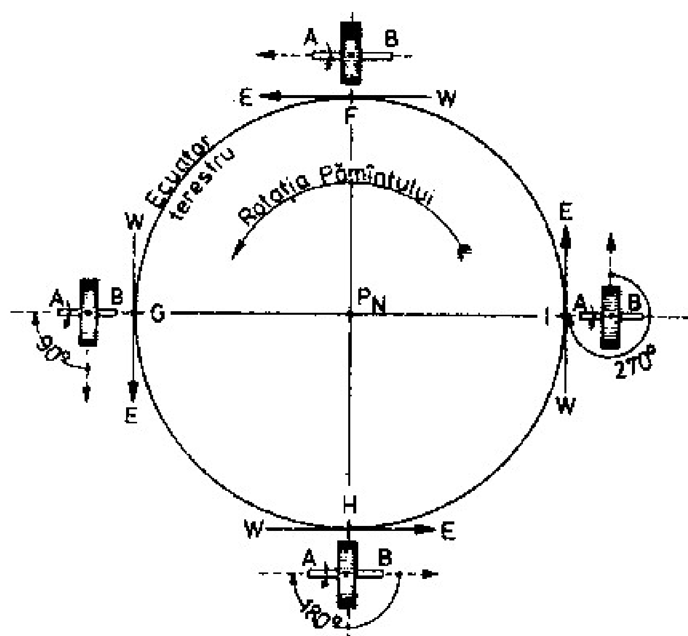


Fig. 4-2

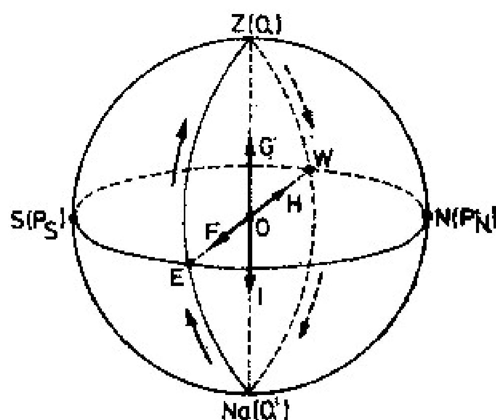


Fig. 4-3

Ca urmare a rotației Pământului, care din polul nord se vede în sens invers acelor unui ceasornic, orizontul adevărat al locului își schimbă continuu poziția în spațiu în jurul direcției meridianului locului, coborând spre est și ridicându-se spre vest; în acest timp, datorită inerției giroscopice, axa principală a giroscopului își menține orientarea în spațiu paralelă cu ea însăși. Rezultă că dacă în punctul F axa principală a giroscopului se află în orizont, în pozițiile succesive pe care le ocupă pe timpul mișcării diurne de rotație a Pământului, aceasta va avea orientări diferite față de orizont. Astfel, extremitatea *A* a axei principale a giroscopului orientată spre est în punctul F execută odată cu rotația Pământului o *mișcare aparentă de ridicare față de orizont,* ajungând după 6 ore siderale (punctul *G*) pe direcția verticalei locului;

mişcarea aparentă executată este de 90°. În continuare, extremitatea A a axei giroscopului se depărtează aparent de verticala locului în sens retrograd, astfel că după 12 ore siderale față de momentul inițial revine în orizont în poziția H, orientată însă spre vest; mişcarea aparentă executată față de momentul inițial este de 180°. În punctul I, după 18 ore siderale, extremitatea A se află orientată pe verticala locului spre centrul Pământului.

După 24 de ore siderale, axa principală a giroscopului revine în orizontul adevărat al locului (poziția F), cu extremitatea A spre est, după ce a executat deci o mişcare aparentă în spațiu de 360°, în sens retrograd.

Observatorul aflat într-un punct oarecare al ecuatorului terestru, în centrul O al sferei cereşti, vede extremitatea A a axei principale a giroscopului proiectată succesiv pe ecuatorul ceresc, care în acest caz trece prin zenit şi nadir, confundându-se cu primul vertical (fig. 4-3).

Considerând situația prezentată mai sus, observatorul (poziția F) va vedea inițial extremitatea A orientată în orizont spre est, după care va trece succesiv în sens retrograd prin zenit (poziția G, după 6 ore siderale) din nou în orizont, spre vest (poziția H, după 12 ore siderale), spre nadir (poziția I, după 18 ore siderale) şi după o rotație completă a Pământului (poziția F, după 24 ore siderale) revine în orizont orientată spre est. Cu alte cuvinte, extremitatea A a axei principale a giroscopului se proiectează spre un punct al sferei cereşti, care se comportă ca o stea aflată pe ecuatorul ceresc (de declinație zero), în mişcarea sa aparent diurnă, ce răsare în est, are culminația superioară în zenit, apune în vest, are culminația inferioară în nadir şi revine în orizont spre est după 24 ore siderale.

Dacă acelaşi giroscop aflat la ecautorul terestru are axa principală orientată în orizont cu extremitatea A pe direcția nord, deci paralelă cu axa polilor tereştrii, ca urmare a rotației Pământului aceasta se menține continuu în orizont orientată constant pe direcția meridianului locului.

Când giroscopul este situat în unul din poli, de exemplu în polul nord, cu axa principală în orizont, ca urmare a rotației Pământului aceasta se menține continuu în orizont perpendiculară pe axa polilor tereştrii, descriind o mişcare aparentă completă în timp de 24 de ore siderale; proiecția extremității A pe sfera cerească, în acest caz, se comportă ca o stea văzută în orizont pe timpul mişcării aparent diurne. Orizontul se menține continuu perpendicular pe axa polilor tereştrii, care se confundă cu verticala locului.

Să analizăm acum mişcarea aparentă a axei principale a giroscopului, plasat la o latitudine oarecare pe suprafața Pământului. Într-un anumit punct L (fig. 4-4) de latitudine φ, rotația Pământului generează două mişcări:

– una de translație, în spațiu, de-a lungul paralelului LL'. Aceasta nu prezintă interes, deoarece nu produce nici un efect giroscopic;

– o mişcare de rotație în jurul axei PP', ce trece prin punctul L, paralelă cu axa polilor tereştrii, care au acelaşi sens şi aceeaşi viteză unghiulară cu rotația $\overline{\omega}$, aplicată în centrul Pământului.

Această ultimă mişcare poate fi descompusă în două mişcări de rotație componente, reprezentate de vectorul $\overline{\omega}_1$, orientat în meridianul locului spre sud şi

$\overline{\omega}_2$, pe verticala locului, cu sensul spre centrul Pământului. Vectorul $\overline{\omega}_1$ reprezintă mișcarea de rotație a planului orizontului în jurul meridianului punctului *L*; ca urmare a rotației Pământului, partea de est a orizontului coboară și cea de vest se ridică, analog cu mișcarea descrisă mai sus la ecuator (fig. 4-2), cu deosebirea că viteza unghiulară de rotație este cea mai mică. Dacă viteza unghiulară de rotație a orizontului în jurul meridianului locului la ecuator este $\overline{\omega}$ (egală cu viteza de rotație a Pământului), vectorul component $\overline{\omega}_1 = \overline{\omega}\cos\varphi$.

Vectorul $\overline{\omega}_2$ reprezintă mișcarea de rotație a planului orizontului în jurul verticalei locului *L*, analoagă cu cea de la pol, cu o viteză unghiulară:

$$\overline{\omega}_2 = \overline{\omega}\cos(90^\circ - \varphi) = \overline{\omega}\sin\varphi \qquad (4\text{-}2)$$

Combinarea celor două mișcări reale ale orizontului adevărat al locului exprimate de vectorii $\overline{\omega}_1$ și $\overline{\omega}_2$ determină o mișcare aparentă a axei principale a giroscopului, care își menține orientarea constantă în spațiu. Ca urmare a mișcării de rotație a orizontului în jurul meridianul locului *L*, exprimată de $\overline{\omega}_1$, se imprimă extremității *A* a giroscopului o mișcare aparentă de ridicare și coborâre în raport cu orizontul, deci o mișcare aparentă în înălțime; rotația orizontului adevărat în jurul verticalei locului, exprimată de $\overline{\omega}_2$, cauzează o deplasare aparentă a axei principale a giroscopului, deci o mișcare aparentă în azimut, în sens retrograd.

Se obține astfel același efect produs de rotația Pământului asupra direcției în spațiu în care se vede o stea; o asemenea direcție descrie o mișcare aparentă de forma unui con de rotație, având vârful în ochiul observatorului (aflat în punctul *L*), în jurul unei axe paralele cu axa de rotație a Pământului ce trece prin punctul *L* și o rază sferică egală cu distanța polară a stelei.

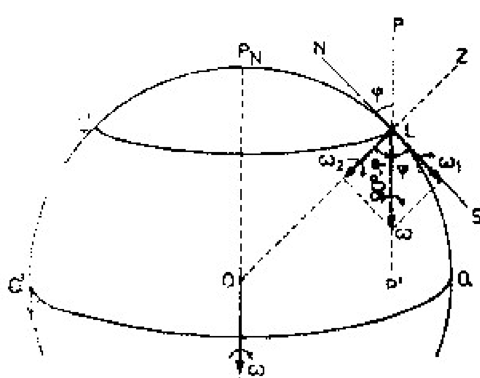


Fig. 4-4

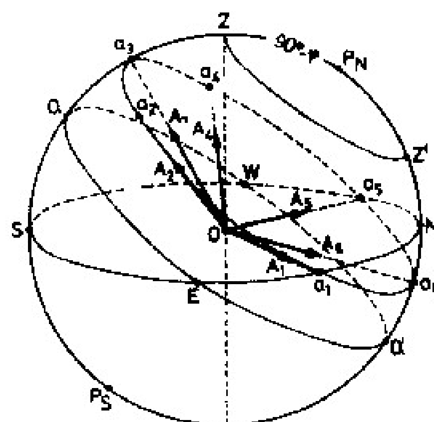


Fig. 4-5

În mod analog se comportă și axa principală a giroscopului; considerând extremitatea *A* orientată inițial în orizont, în poziția *A* (fig. 4-5), spre o stea care răsare în a_1, datorită rotației Pământului axa giroscopului execută o mișcare aparentă în spațiu descriind un con de rotație cu baza de-a lungul paralelului ceresc al stelei și urmărind mișcarea aparentă diurnă a acesteia: se află în orizont în a_1, are culminația superioară în a_3 trece prin orizont în a_5, are culminația inferioară în a_6 și revine în orizont în a_1, după 24 ore siderale.

Dacă în momentul inițial axa principală a giroscopului este orientată pe direcția verticalei locului cu extremitatea *A* spre zenit, conul de rotație descris de mișcarea aparentă a acesteia are baza de-a lungul paralelului ceresc *ZZ'*, cu o rază sferică $P_N Z$, egală cu colatitudinea punctului *L*.

În cazul în care axa principală a giroscopului se orientează paralel cu axa polilor tereștrii, cu extremitatea *A* spre polul nord ceresc (indicând cu aproximație direcția stelei Polare), acesteia nu i se imprimă nici o mișcare aparentă și va rămâne continuu dirijată pe direcția nord adevărat.

2 Precesia giroscopică

Considerăm un giroscopic având torul *staționar*; în extremitatea A a axei principale se aplică o forță *f*, care provoacă un moment *M* de valoare *fd*, unde *d* reprezintă brațul momentului. Acest moment de înclinare determină abaterea axei principale a giroscopului, punctul de aplicație *A* executând o rotație în sensul forței *f* în jurul axei *YY'* (fig.4-6).

Mișcarea imprimată punctului *A* este uniform accelerată; unghiul descris în unitatea de timp poate fi însă considerat egal cu acela cu care s-ar roti în timp de o secundă , dacă ar executa o mișcare uniformă cu o viteză egală cu viteza medie între cea inițială, de valoare zero și viteza după o secundă, egală cu ρ; astfel, viteza medie este $\frac{\rho}{2}$. Vectorii momentului *M* și ai vitezei unghiulare $\frac{\rho}{2}$, produsă de acesta, sunt reprezentați de-a lungul axei *YY'*, având sensul în acea parte de unde mișcarea de rotație se vede în sens retrograd.

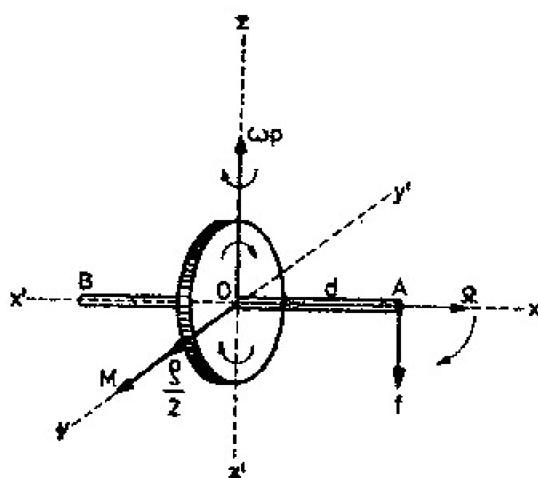


Fig. 4-6

Presupunem acum același giroscop, al cărui tor este animat de o rotație rapidă (Ω) în jurul axei de simetrie *XX'*, orientată în orizontul adevărat. În noua situație, aceeași greutate *f* aplicată în *A* are un efect cu totul diferit: se observă că axa principală a giroscopului nu se mai supune acțiunii de înclinare a momentului *M*

produs de greutatea *f*, ci execută o mişcare de rotaţie lentă şi uniformă în jurul axei *ZZ'*, într-un plan perpendicular pe aceasta.

Această mişcare în jurul axei verticale este denumită *precesie giroscopică*. Fenomenul îşi găseşte explicaţia în forţele de inerţie care se manifestă în diferitele puncte ale torului, datorită schimbărilor de direcţie a vitezelor periferice ce animă fiecare particulă sub acţiunea momentului de înclinare.

Mişcarea de precesie tinde să aducă în coincidenţă vectorul vitezei unghiulare de rotaţie Ω a torului cu vectorul $\frac{\rho}{2}$, care reprezintă viteza de rotaţie determinată de momentul de înclinare. În cazul prezentat în figura 4-6, paralelismul vectorilor Ω şi $\frac{\rho}{2}$ nu se poate realiza, deoarece ambii vectori sunt antrenaţi cu aceeaşi viteză unghiulară a precesiei imprimată giroscopului, rămânând decalaţi tot timpul cu 90°; precesia va continua deci atâta timp cât acţionează momentul de înclinare. Dacă mişcarea de precesie are loc în jurul axei *YY'*, ca urmare a unui moment de înclinare aplicat la capetele axei *XX'*, generat de forţa *f* (fig. 4-7), în planul determinat de aceste două axe, vectorul Ω poate fi adus în coincidenţă cu vectorul $\frac{\rho}{2}$ (aflat în această situaţie pe axa *ZZ'*); după realizarea coincidenţei, mişcarea de precesie încetează.

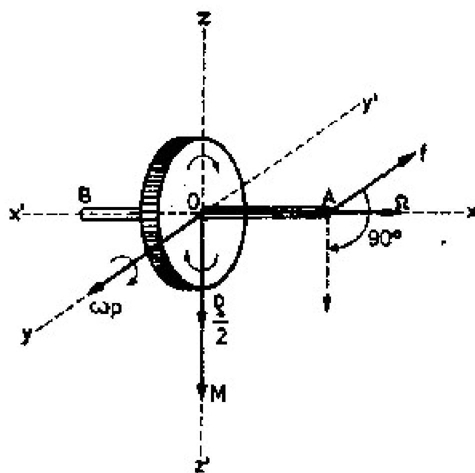


Fig. 4-7

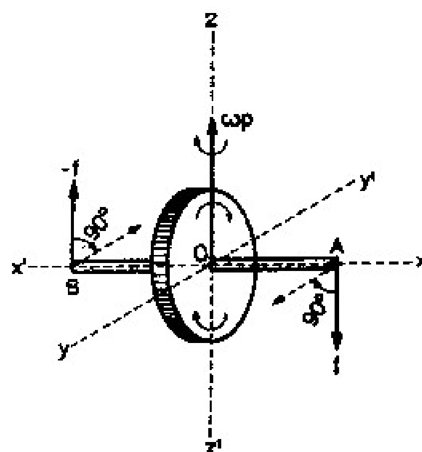


Fig. 4-8

Viteza unghiulară a mişcării de precesie este reprezentată de vectorul ω_p, normal pe planul vectorilor Ω şi $\frac{\rho}{2}$ (sau *M*), orientat în acea parte a planului de unde precesia se vede în sens retrograd.

Sensul mişcării de precesie se poate stabili uşor, folosind una din următoarele reguli practice:

a – regula cuplului de înclinare (fig. 4-8): forţele care constituie cuplul de înclinare *f*, *-f* se rotesc cu 90° în sensul de rotaţie al torului. Noua lor orientare (reprezentată punctat) indică sensul mişcării de precesie. Regula se foloseşte de

aceeași manieră când se aplică o singură forță exterioară, sensul mișcării de precesie stabilit în acest caz referindu-se la extremitatea axului torului unde acționează forța (ca în fig. 4-7);

b – regula mâinii drepte: se orientează mâna dreaptă pe direcția axului torului, cu degetul arătător în sensul extremității *A* (de unde torul se vede rotind în sens retograd) și cu degetul mare în sensul forței cuplului de înclinare (f). Degetul mijlociu, orientat perpendicular pe planul primelor două degete, indică sensul mișcării de precesie.

Viteza unghiulară a mișcării de precesie ω_p este exprimată de relația:

$$\omega_p = \frac{M}{I\Omega} \quad (4\text{-}3)$$

unde *I* reprezintă *momentul de inerție al torului* de masă *m* și rază *r*, dat de expresia:

$$I = mr^2 \quad (4\text{-}4)$$

Viteza unghiulară de precesie este deci direct proporțională cu momentul *M* al forței exterioare de înclinare și invers proporțională cu momentul de inerție și cu viteza de rotație a torului.

Acțiunea de scurtă durată a unei forțe exterioare, sub forma unui șoc, nu modifică esențial orientarea axei principale a giroscopului; acest fapt prezintă o importanță deosebită pentru stabilitatea în direcție a compasului giroscopic, care la bordul navei funcționează în regim de trepidații, cauzate de mașini și elice, precum și de șocuri, provocate de lovituri de valuri în condiții de mare rea etc. Stabilitatea direcției axei principale a unui giroscop crește cu viteza unghiulară de rotație ω și cu momentul de inerție *I*. Pentru a mări momentul de inerție al giroscopului la același diametru și aceeași masă, torul se construiește sub forma unui disc cu marginile îngroșate; astfel, o parte din masa torului se află la o distanță mai mare de axa de rotație proprie și momentul de inerție crește.

Rezultă că pentru a se produce o mișcare de precesie regulată, acțiunea forței exterioare trebuie să fie continuă.

Perioada unei mișcă·i complete de precesie T_p a axei principale a giroscopului în jurul axei verticale *ZZ'* este exprimată de relația:

$$T_p = \frac{2\pi}{\omega p}$$

în care substituind valoarea vitezei unghiulare de precesie, se obține:

$$T_p = 2\pi\frac{I\Omega}{M} \quad (4\text{-}5)$$

Dacă greutatea *f* se îndepărtează, deci dacă momentul de înclinare *M* se anulează, mișcarea de precesie giroscopică încetează.

În cazul în care greutatea *f* se menține și se anulează mișcarea de rotație proprie a torului Ω, axa giroscopului se înclină brusc sub efectul momentului de înclinare *M*, așa cum s-a prezentat pentru situația giroscopului staționar.

Mișcarea de precesie giroscopică determinată de acțiunea momentului unei forțe exterioare este proprietatea care permite transformarea giroscopului în compas.

§3 Proprietatea directivă a giroscopului cu două grade de libertate fixat în orizontul adevărat

Considerăm giroscopul cu axa principală *AB* în orizontul adevărat al locului, orientată pe direcția est-vest, într-un punct de latitudine φ, având blocată axa orizontală *YY'* (fig. 4-9); extremitatea *A* se află spre est.

Acest giroscop cu două grade de libertate poate să execute liber două mișcări: rotația proprie în jurul axei principale *XX'* și mișcarea de rotație a axei principale în orizont, în jurul axei verticale *ZZ'*. Giroscopul nu este deci perturbat de mișcarea de rotație ω_2 a orizontului în jurul verticalei locului (formula 4-2), dar participă la rotația ω_1 a orizontului în jurul meridianului N-S (relația 4-1), fiind supus astfel unei precesii forțate ω_p, de viteză unghiulară ω_1, în sens retrograd.

La această precesie, giroscopul reacționează ca și când ar fi acționat de un cuplu de forțe aplicat la extremitățile *A* și *B*, de un moment *M*, care face ca vectorul Ω, ce reprezintă rotația proprie, să tindă a ajunge în coincidență cu vectorul ω_1; astfel , extremitatea *A* a axei principale a torului tinde să se apropie de direcția sud, iar extremitatea B (de unde torul se vede rotindu-se în sens direct), de direcția nord. Acest cuplu acționează până când extremitatea *B* a axului torului ajumge în direcția nord, poziție în care se realizează paralelismul rotațiilor ; din extremitatea B a axei principale a giroscopului, aflată pe direcția nord, atât torul cât și Pământul se văd în sens direct.

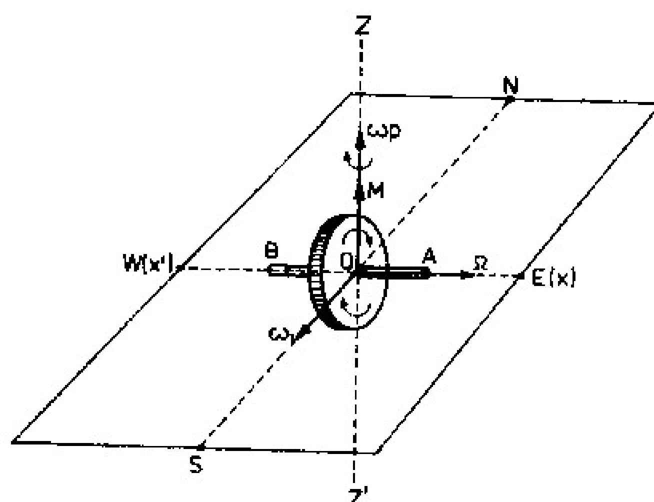


Fig. 4-9

Momentul cuplului precesiei forțate este exprimat de relația:

$$M = I\,\Omega\,\omega_1 = I\,\Omega\,\omega\cos\varphi \qquad (4\text{-}5)$$

Dacă se inversează sensul rotației giroscopului (extremitatea *A*, respectiv vectorul Ω, spre vest), se inversează sensul momentului *M* și totodată și sensul precesiei forțate ω_p; ca și în primul caz însă, extremitatea *B* a axei principale a giroscopului tinde să se orienteze tot în direcția nord.

În orice situație deci, axa principală a giroscopului tinde să se orienteze în meridianul locului; momentul M acționează ca un moment directiv, care face ca

extremitatea B a axei de rotație a giroscopului să tindă a se orienta în direcția nord adevărat, comportându-se astfel ca un element sensibil al unui compas.

Valoarea momentului directiv M nu este constantă, deoarece când axa de rotație a torului formează cu meridianul unghiul β (fig. 4-10), mișcarea de precesie forțată are o viteză unghiulară ω'_1, egală cu proiecția vitezei unghiulare ω_1 pe normala la axa girocompasului, exprimată de relația:

$$\omega'_1 = \omega_1 \sin\beta = \omega \cos\varphi \sin\beta$$

și deci:

$$M = I\,\Omega\omega \cos\varphi \sin\beta \qquad (4\text{-}6)$$

Expresia (4-6) arată că momentul directiv este maxim pentru $\beta = 90°$, când axa principală a giroscopului este orientată în direcția est-vest, scade pe măsura apropierii acesteia de meridianul locului și devine nul, odată cu orientarea axei giroscopului pe

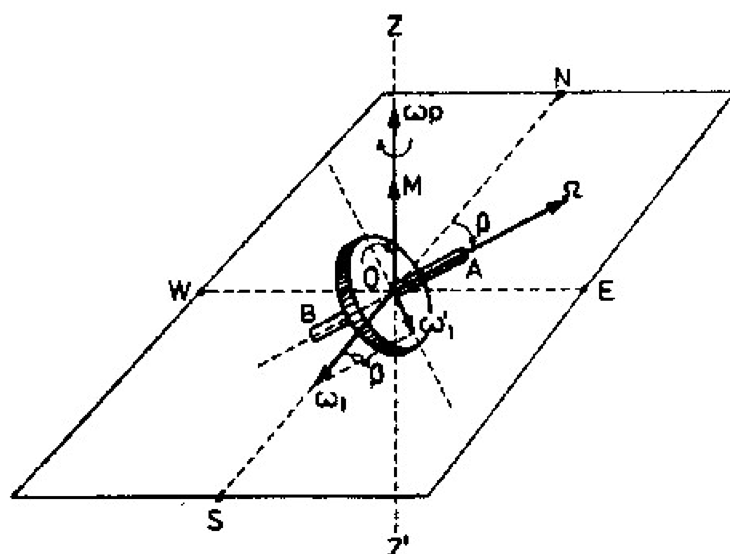


Fig. 4-10

direcția nord-sud. La același moment I de inerție al torului, aceeași viteză de rotație Ω și același unghi β față de meridian, momentul directiv M este maxim la ecuator ($\cos\varphi = 1$) și nul la polii tereștrii ($\cos\varphi = 0$); rezultă deci că giroscopul cu două grade de libertate își pierde proprietatea directivă la polii tereștrii și momentul directiv este de o valoare redusă, în apropierea acestora.

Din cele arătate mai sus rezultă că la aceeași latitudine, momentul directiv scade pe măsura apropierii axei principale a giroscopului de meridianul locului și se anulează când aceasta se orientează pe direcția nord-sud. Extremitatea B a axei giroscopului după ce ajunge în direcția nord continuă să se deplaseze pentru un oarecare timp spre est, datorită inerției, până când se manifestă momentul directiv invers, care tinde să o readucă în meridian. În acest fel, axa principală a giroscopului execută o serie de oscilații în planul orizontului în jurul meridianului locului, sub acțiunea momentului directiv M; când oscilațiile devin amortizate datorită frecărilor axelor în lagăre și a rezistenței mediului, axa torului se orientează cu extremitatea sa B pe direcția nord.

Perioada T a unei oscilații complete a axei principale a unui giroscop cu două grade de libertate, fixată în orizont în jurul meridianului, sub acțiunea momentului directiv M, neglijându-se orice fel de rezistență datorită frecărilor, este dată de relația:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I_z}{I\,\Omega\,\omega\cos\varphi}} \qquad (4\text{-}7)$$

unde I_z reprezintă momentul de inerție al torului în raport cu axa verticală ZZ'.

Din cele arătate rezultă că un giroscop cu două grade de libertate, fixat în orizont, posedă proprietăți directive ce pot fi utilizate la construcția unui compas, pentru determinarea direcției nord-sud; acesta este principiul care stă la baza transformării giroscopului în compas.

Propietatea directivă a giroscopului cu două grade de libertate, fixat în orizont, a fost demonstrată pentru dată de *L. Foucault* în anul 1852; de aceea, un asemenea giroscop mai este cunoscut și sub denumirea de *giroscopul Foucault*.

La bordul navei însă, unde puntea nu se menține fixă în orizont, datorită balansului cauzat de valuri, înclinărilor provocate de vânt, de acțiunea cârmei etc., giroscopul Foucault, în forma prezentată, nu poate fi folosit pentru indicarea direcției meridianului locului. În condițiile specifice de la bordul navei, un giroscop stabil în orizont nu se putea realiza decât introdus într-un plutitor sau suspendat. Compasul giroscopic sau girocompasul s-a realizat printr-o asemenea soluție, folosind un giroscop cu două grade de libertate și un *grad de libertate limitat în orizont*, prin coborârea centrului de greutate. Coborârea centrului de greutate se obține pe două căi: prin montarea unei greutăți sub centrul de sprijin al giroscopului sau prin fixarea la giroscop a unor vase comunicante cu mercur; la compasurile giroscopice moderne este folosit cu prioritate primul sistem.

§4 Principiul compasului giroscopic

1 Giroscopul cu două grade de libertate și un grad de libertate limitat în orizont

Considerăm un giroscop instalat într-o sferă etanșe, care plutește afundată într-un lichid (fig. 4-11 *a*); spre extremitatea Z' a axei ZZ', în interiorul sferei, se află fixată o greutate suplimentară p, care face ca centrul de greutate al sistemului să fie coborât în G, la distanța $OG = a$ sub centrul de simetrie O. Când axa de rotație AB a torului se află în orizont (HH'), centrul de greutate$G$, punct de aplicație al forței de gravitație P, se află pe verticala (VV') a centrului de simetrie al giroscopului O, care se confundă cu centrul sferei; centrul sferei O constituie punctul de aplicație al *forței de împingere* $-P$ a lichidului asupra sferei, egală și de sens contrar cu P. Un asemenea giroscop se numește *giroscop cu centrul de greutate coborât* sau *giroscop pendul*. Figura 4-11 *a* reprezintă o secțiune în sferă, în planul axelor XX' și ZZ' axa YY' perpendiculară pe planul figurii.

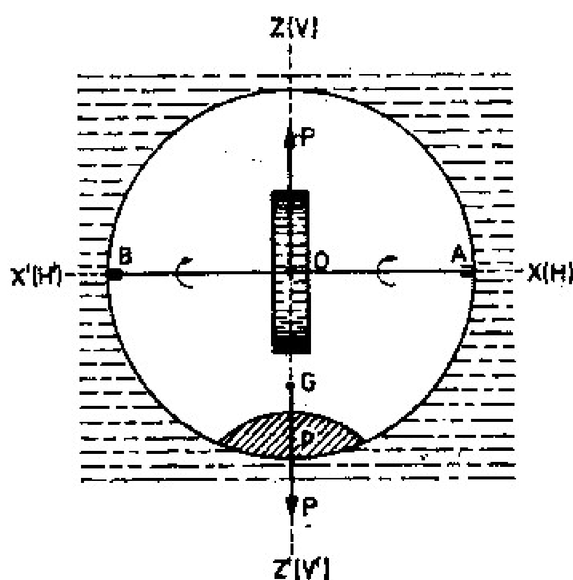


Fig. 4-11 a

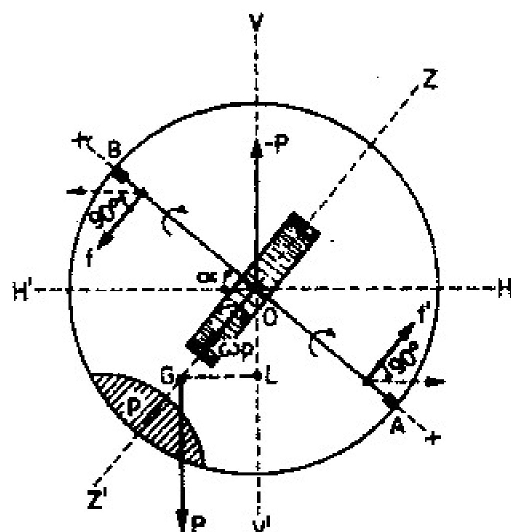


Fig. 4-11 b

Presupunem *torul staționar* și înclinăm sfera, astfel încât axa principală a giroscopului să formeze unghiul α față de orizont (fig. 4-11 *b*); în această poziție, cuplul *P, –P*, având brațul *GL* creează *momentul de stabilitate*:

$$Mst = Pa \sin \alpha \qquad (4\text{-}8)$$

care tinde să readucă axa giroscopului în orizont. Dacă acțiunea *cuplului de înclinare* încetează, după câteva oscilații, sfera își revine în poziție de echilibru, cu axa principală a giroscopului în orizont.

La același unghi de înclinare α, stabilitatea sistemului plutitor sferă – giroscop, denumit *girosferă* , este cu atât mai mare, cu cât greutatea *P* și distanța *OG* = *a* sunt mai mari; distanța *OG* = *a* este denumită *înălțimea metacentrică a girosferei* .

Dacă se imprimă torului un număr foarte mare de rotații în jurul axei sale principale, aceasta se menține stabilă în spațiu, atâta timp cât rămâne orientată în orizont (fig. 4-11 *a*).

Considerăm girosfera cu torul staționar, înclinată cu *extremitatea B deasupra orizontului,* de unghiul α; imprimând torului un număr foarte mare de rotații în jurul axei *AB,* în sensul indicat în fig. 4-11 b, se observă că girosfera este supusă unei mișcări de precesie. Asupra giroscopului în rotație, *momentul de stabilitate* (formula 4-8) acționează ca un cuplu de forțe *f, f'* aplicat la capetele axei *AB* a torului, ce tinde să o readucă în orizont, generând o mișcare de precesie ω_p în jurul axei *ZZ'*, *în sens direct* (privită de sus, din Z). Dacă *extremitatea B a axei principale a torului se află sub orizont,* sensul mișcării de precesie se inversează fiind *în sens retrograd* (privită de sus). Astfel, se poate spune în concluzie că, *dacă axa principală a torului este scoasă din orizont de o forță exterioară oarecare, girosferei i se imprimă o mișcare de precesie*, având următorul sens (privită de sus, din Z):

– în sens direct, dacă extremitatea *B* a axei torului se află deasupra orizontului;

– în sens retrograd, dacă extremitatea *B* a axei torului se află sub orizont.

Mişcarea de precesie continuă până când girosfera revine în poziţie de echilibru, având axa torului în orizont şi centrul de greutate G sub centrul sferei O, pe aceeaşi verticală.

Pentru un giroscop în stare normală de funcţionare, *înclinarea axei principale faţă de orizont este consecinţa mişcării de rotaţie a planului orizontului în spaţiu, determinată de rotaţia Pământului,* aşa cum s-a arătat la § 2, punctul 1.

2 Giroscopul cu un grad de libertate limitat în orizont, sub influenţa rotaţiei Pământului. Oscilaţiile neamortizate

Comportarea giroscopului cu un grad de libertate limitat în orizont, sub influenţa rotaţiei Pământului, poate fi urmărită cel mai uşor la ecuator.

Considerăm girosfera cu torul antrenat de un număr foarte mare de rotaţii, într-un punct al ecuatorului, în poziţie de echilibru, cu axa principală a giroscopului în orizont, având extremitatea *B* spre est şi centrul de greutate *G* sub centrul sferei *O*, pe aceeaşi verticală (fig. 4-12, poziţia K_1); în această poziţie, axa principală a giroscopului îşi menţine orientarea în spaţiu (cazul girosferei din fig. 4-11 a).

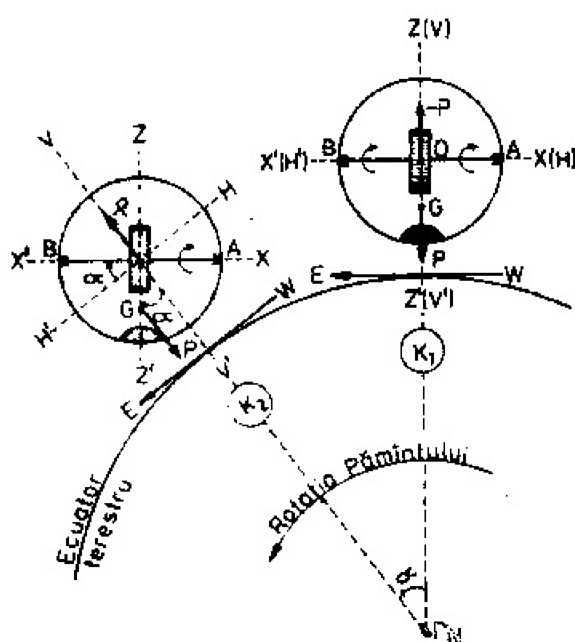


Fig. 4-12

După un interval mic de timp, în care Pământul se roteşte cu un unghi α, de asemenea de mărime redusă, girosfera ajunge în poziţia K_2; în acest interval de timp, orizontul execută o mişcare de rotaţie în jurul meridianul de aceeaşi mărime unghiulară, deci axa principală a giroscopului , care îşi menţinne orientarea în spaţiu, se va afla înclinată cu un unghi α faţă de noul orizont, cu extremitatea sa *B* deasupra acestuia, spre est. În poziţia K_2, girosfera se găseşte în situaţia prezentată în figura 4-11 *b*. Sub acţiunea momentului de stabilitate, girosfera este supusă unei mişcări, de

precesie în jurul axei ZZ', în sens direct (privită din Z), care tinde să orienteze axa torului în meridianul locului cu extremitatea sa *B* spre nord.

Dacă extremitatea *B* a axei torului are orientarea opusă, spre vest, sub orizont, mişcarea de precesie în jurul axei ZZ' ar avea loc în sens retrograd (privită din *Z*), cu aceeaşi tendinţă, de a se orienta spre nord.

Rezultă că axa principală a unui giroscop cu două grade de libertate şi un grad de libertate limitat în orizont tinde să se orienteze în meridianul locului, sub influenţa rotaţiei Pământului; extremitatea axei principale, de unde rotaţia torului se vede în sens direct (B), se orientează spre nord.

Deoarece, dinspre nord, rotaţia Pământului se vede tot în sens direct, precesia girosferei mai poate fi definită astfel: *axa principală a giroscopului tinde să se orienteze astfel , încât rotaţia torului să aibă loc în acelaşi sens cu rotaţia Pământului.*

Momentul de stabilitate acţionează până ce axa principală a giroscopului ajunge în orizont. În realitate, mişcarea de precesie nu se produce în „salturi", ci ea este continuă, concomitentă cu rotaţia Pământului.

Pentru acelaşi giroscop, aflat la ecuator, extremitatea *B* ajunsă în meridianul locului, sub efectul mişcării de precesie, nu rămâne stabilă în direcţia nord; ea continuă să oscileze în jurul meridianului, descriind o elipsă. Pentru exemplificarea acestui fenomen să urmărim traiectoria descrisă de extremitatea *B* a axei principale a unui giroscop cu un grad de libertate limitat în orizont (fig. 4-13). În acest scop, considerăm un asemenea giroscop, care în momentul iniţial are axa orientată pe direcţia *AB*, în planul orizontului *H*, formând unghiul β cu linia N-S; planul *Q* este un plan perpendicular pe planul meridianului locului, a căror intersecţie este direcţia MM' şi perpendicular pe planul orizontului adevărat, intersecţia lor fiind direcţia E-W. Pentru explicaţiile care urmează se folosesc următoarele simboluri:

α = unghiul de înclinare a axei torului faţă de orizontul adevărat;

β = unghiul din orizontul adevărat dintre axa torului şi meridianul locului;

V_t = viteza liniară cu care axa torului se ridică sau coboară aparent faţă de orizont, ca urmare a rotaţiei Pământului;

V_p = viteza liniară a mişcării de precesie, generată de momentul de stabilitate.

În poziţia iniţială (fig. 4-13) în care giroscopul se pune în funcţiune, extremitatea *B* a axei torului se consideră proiectată pe planul *Q* în punctulB_1; ea se află în orizont (α = 0) şi se formează unghiul maxim β faţă de meridian.

Datorită rotaţiei Pământului, extremitatea *B* a axei torului se ridică aparent deasupra orizontului cu viteza liniară V_t. După un interval scurt de timp, când extremitatea *B* se proiectează în B_2, datorită înclinării axei torului faţă de orizont, ia naştere mişcarea de precesie sub acţiunea momentului de stabilitate, cu o viteză liniară V_p; axa torului se va deplasa cu o mişcare rezultantă. Iniţial, mişcarea de precesie este lentă; ea creşte pe măsura ridicării aparente a axei torului deasupra orizontului, până când extremitatea *B* se va proiecta în B_3 (unde unghiul α şi V_p au valorile maxime).

Extremitatea *B* a axei torului trece în continuare la vest de meridian, sub acţiunea precesiei momentului de stabilitate. Partea de vest a orizontului se ridică

datorită rotației Pământului, deci extremitatea B a axei torului coboară aparent față de orizont; unghiul α și deci V_p scad pe măsură ce axa torului se apropie de orizont, unghiul β crește spre vest, V_t crește – în sens invers (față de cel avut în partea estică), până când extremitatea B ajunge să se proiecteze din nou în orizont, în B_5. Dacă nu există nici o frecare în lagăre a axelor giroscopului, unghiul β vestic $\sphericalangle NOB_5$ este egal cu cel estic $\sphericalangle NOB_1$).

Extremitatea B a axei torului își continuă apoi mișcarea pe partea cealaltă a planului H, proiectându-se succesiv în B_6 și revenind în B_1; de asemenea , dacă axele giroscopului nu au frecări, unghiurile în planul meridianului $\sphericalangle NOB_3$ și $\sphericalangle NOB_6$ sunt egale.

Axa unui giroscop cu două grade de libertate și un grad de libertate limitat în orizont, sub influența rotației Pământului descrie deci o elipsă; dacă nu intervin alte forțe exterioare, oscilațiile sunt continue, denumite *oscilații neamortizate*.

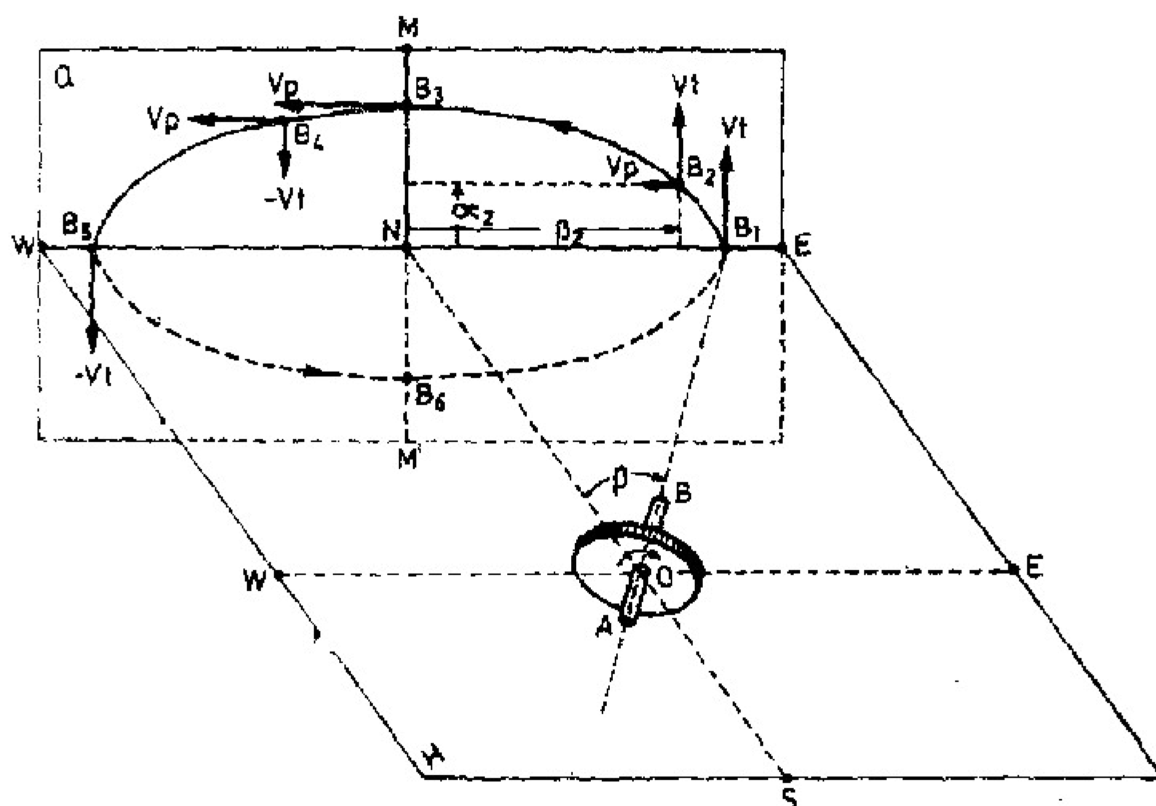


Fig. 4-13

Elipsa are o formă foarte turtită. Punctele B_1 și B_5 reprezintă proiecțiile axei torului pe planul vertical Q, unde mișcarea de precesie își schimbă sensul. Amplitudinea B_1-B_5, orientată în sensul axei mari a elipsei, în planul orizontului, este funcție de abaterea inițială a axei torului față de meridianul locului (funcție deci de valoarea inițială a unghiului β); prin moment inițial se înțelege momentul în care torul începe să fie pus în rotație. Dacă în mometul inițial, la ecuator, extremitatea B a axei torului se află în orizont, orientată în direcția nord, ea își menține orientarea în spațiu, oscilația fiind eliminată. Figura 4-14 reprezintă o serie de elipse descrise de extremitatea B a unui giroscop, în planul vertical Q, datorită oscilațiilor neamortizate,

având diferite poziții (B_1, $B_1'B_1''$) în momentul pornirii torului; în cazul în care în momentul inițial, extremitatea B se află în orizont, pe direcția N, aceasta își menține orientarea în spațiu.

Amplitudinea B_3-B_6, în sensul axei mici a elipsei , depinde de următorii factori: de poziția inițială a axei principale față de meridian în momentul pornirii giroscopului, de viteza de rotație Ω a torului, de momentul de inerție al torului în raport cu axa de rotație proprie, de greutatea P a girosferei și de distanța a dintre centrul de greutate G și centrul girosferei O.

Se demonstrează că axa mică B_3-B_6 este invers proporțională cu produsul $P. a$; deci, cu cât greutatea P a girosferei și distanța metacentrică a sunt mai mari, cu atât *momentul de stabilitate* este mai mare și semiaxa verticală B_3-B_6, mai mică. Teoretic, dacă *momentul de stabilitate* devine infinit de mare, extremitatea B a axei torului, ca urmare a oscilațiilor neamortizate, ar descrie o dreaptă în orizont, care s-ar confunda cu semiaxa mare a elipsei B_1-B_5. Practic, la compasurile giroscopice, $\sphericalangle NOB_3$ (= $\sphericalangle NOB_6$) nu depășește 2°-3°, deci turtirea elipsei este foarte mare.

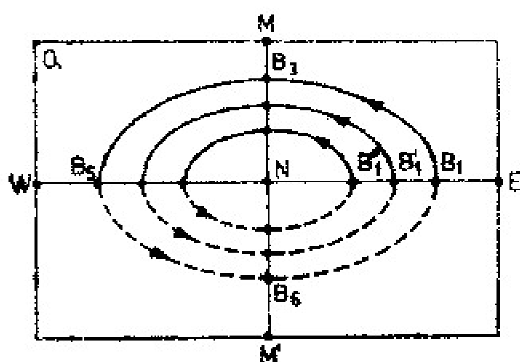


Fig. 4-14

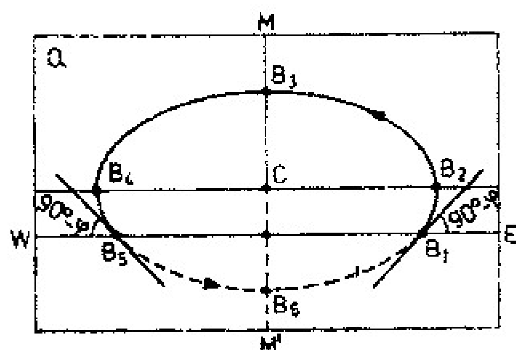


Fig. 4-15

Într-un loc de latitudine oarecare φ în emisfera nordică, sub influența rotației Pământului, extremitatea B a axei torului, ca urmare a oscilațiiilor neamortizate, descrie tot o elipsă al cărei centru C se află deasupra orizontului (fig. 4-15); curba taie direcția E-W a orizontului sub un unghi de valoarea colatitudinii (90°-φ), egal cu unghiul format între planul ecuatorului și planul orizontului.

În emisfera sudică, elipsa descrisă de axa torului are centru C sub orizont, tăind linia E-W a orizontului sub același unghi, egal cu colatitudinea.

Perioada de oscilație T necesară extremității B a axei principale a giroscopului cu două grade de libertate și un grad de libertate limitat în orizont de a descrie o elipsă completă, denumită *perioada oscilațiilor neamortizate*, este dată de relația:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I\Omega}{P\,a\,\omega\cos\varphi}} \tag{4-9}$$

unde ω reprezintă viteza unghiulară de rotație a Pământului.

Perioada de oscilație a unui giroscop crește deci cu latitudinea; în apropierea polilor tereștrii devine atât de mare, încât face compasul giroscop inutilizabil.

La latitudini medii, perioada oscilaţiilor neamortizate este de aproximativ o oră şi jumătate.

Momentul directiv al girocompasului cu un grad de libertate limitat în orizont este acelaşi cu al unui giroscop cu un grad de libertate fixat în orizont (formula 4-6): $M = I\,\Omega\omega \cos\varphi \sin\beta$. Relaţia arată că:

– momentul directiv este maxim pentru $\beta = 90°$, când axa principală a torului este orientată pe direcţia E-W şi scade pe măsura apropierii acesteia de meridian;

– la acelaşi giroscop, momentul directiv este *maxim la ecuator ($\cos\varphi = 1$), nul la polii tereştri ($\cos\varphi = 0$) şi foarte redus în apropierea acestora. Rezultă că girocompasul nu poate fi folosit pentru determinarea direcţiilor în zonele din vecinătatea polilor tereştri.*

Compasurile giroscopice au momentul directiv apreciabil mai mare decât al compasurilor magnetice; astfel, la compasurile giroscopice KURS şi ANSCHUTZ, momentul directiv este mai mare de 10-12 ori decât al unui compas magnetic obişnuit.

3 Amortizarea oscilaţiilor. Transformarea giroscopului cu un grad de libertate limitat în orizont, în girocompas

La un compas magnetic uscat, oscilaţiile rozei sunt amortizate sub efectul momentului directiv al sistemului magnetic al rozei şi datorită frecărilor sistemului de suspensie al acesteia; la cele cu lichid, amortizarea se realizează şi prin rezistenţa lichidului.

La un giroscop cu un grad de libertate limitat în orizont, momentul forţelor de frecare ale sistemului de axe cardanice este practic neînsemnat în raport cu momentul cinetic al torului, astfel că, dacă nu se intervine cu un sistem de forţe exterioare de amortizare, oscilaţiile neamortizate pot să se manifeste săptămâni în şir. Astfel, experimental s-a constatat că, instalând un compas giroscopic* la uscat, în stare de funcţionare, fără a folosi dispozitivul de amortizare a oscilaţiilor, după 15 zile de la pornirea lui, abaterile din meridian erau diminuate cu numai1% faţă de valorile lor iniţiale. Este clar că un asemenea giroscop nu poate fi utilizat ca girocompas pentru determinarea direcţiilor pe mare şi că este necesară realizarea unui dispozitiv de amortizare a oscilaţiilor şi stabilizare a axei sale principale în meridian. La compasurile giroscopice a căror limitare în orizont se realizează prin coborârea centrului de greutate, dispozitivul pentru amortizarea oscilaţiilor s-a înfăptuit cu un sistem de *vase comunicante cu ulei*, care funcţionează pe principiul *tancurilor Frahm*, folosite la amortizarea mişcărilor de ruliu ale navei.

Vasele comunicante cu ulei A' şi B' sunt instalate în partea superioară a girosferei (fig. 4-16), în planul determinat de axa de rotaţie AB a torului şi axa ZZ'.

---

* Experienţa a fost efectuată cu un girocompas ANSCHUTZ

Se asigură o cantitate de ulei astfel ca nivelul lui să ajungă la jumătatea înălțimii vaselor A' și B'. În partea inferioară se află tubul de legătură pentru comunicarea uleiului dintr-un vas în altul, prevăzut cu un robinet *(F)*, cu ajutorul căruia se poate regla viteza de circulație a lichidului, funcție de vâscozitatea lui; în partea superioară, vasele sunt legate printr-un tub pentru circulația aerului.

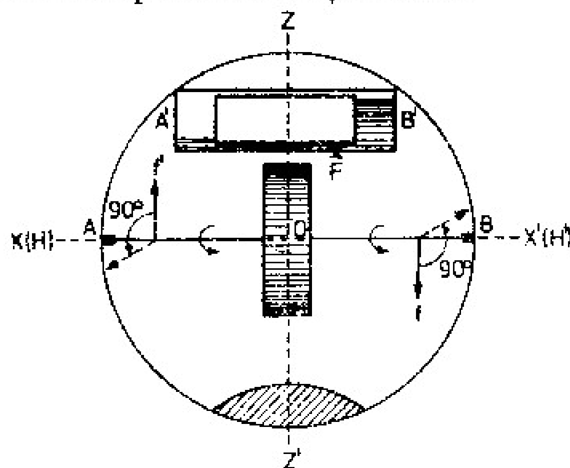


Fig. 4-16

Oscilațiile girocompasului sunt amortizate prin realizarea unei diferențe de fază între perioada oscilațiilor neamortizate ale axei principale a torului și perioada oscilațiilor nivelului uleiului în vasele comunicante. Diferența de fază se stabilește prin reglarea vitezei de circulație a uleiului între vasele comunicante (funcție de secțiunea liberă a robinetului F și vâscozitatea uleiului).

Viteza de circulație a uleiului se reglează astfel încât perioada de trecere a uleiului dintr-un vas în altul să fie aproximativ egală cu 1/4 din perioada T a oscilațiilor neamortizate ale giroscopului (formula 4-9). Valoarea optimă a acestei perioade este stabilită prin experiențe de laborator astfel ca, în momentul când axa principală a giroscopului se află în orizont, diferența nivelului de ulei în vasele comunicante să fie maximă și invers, când axa torului are înclinarea maximă, nivelul uleiului în cele două vase să fie același.

Așa cum se arată în fig. 4-16, presupunem axa principală a torului în orizont, uleiul în vasul B' la nivel maxim, iar în A' la nivel minim; diferența cantității de ulei în cele două vase acționează ca un cuplu f, $-f$ asupra capetelor axei torului, determinând o mișcare de precesie în jurul axei ZZ' în sens direct (privită de sus, din Z). Dacă nivelul uleiului este invers repartizat în cele două vase (în A' nivelul maxim și în B' nivelul minim), mișcarea de precesie generată are sens retrograd (privită din Z). Viteza unghiulară a mișcării de precesie astfel generată, pe care o denumim *precesie de amortizare*, este funcție de diferența cantității de ulei din cele două vase. În cazul în care nivelul uleiului în vasele comunicante este același, precesia de amortizare nu are loc.

Să urmărim acum, așa cum am făcut mai sus (în fig. 4-13), traiectoria descrisă de proiecția extremității B a axei torului pe planul vertical Q; giroscopul cu un grad

de libertate limitat în orizont se presupune că funcționează în interiorul girosferei, prevăzută cu dispozitivul de vase comunicante pentru amortizarea oscilațiilor (fig. 4-17).

Efectul rotației Pământului asupra girscopului rămâne același, exprimat prim viteza liniară V_t (a se vedea considerațiile de la §4, punctul 2). Girosfera cu vasele comunicante va fi supusă însă unei mișcări de precesie, care reprezintă suma vectorială a două precesii: *precesia generată de momentul de stabilitate* (formula 4-8) determinată prin coborârea centrului de greutate (exprimată prin viteza liniară V_p) și *precesia de amortizare* (reprezentată prin viteza liniară V_a).

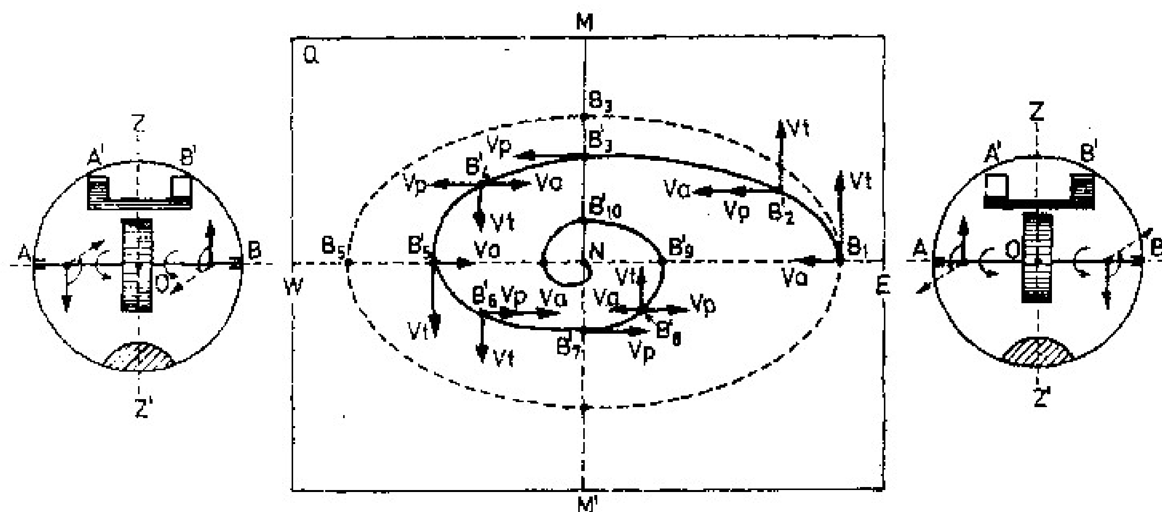


Fig. 4-17

Considerăm girosfera într-un punct situat pe ecuator, cu extremitatea B a axei torului orientată în orizont ($\alpha = 0$), spre est, formând unghiul maxim β față de meridian; proiecția ei pe planul Q este în B_1 (fig. 4-17). Dacă girosfera nu ar fi prevăzută cu dispozitiv de amortizare, extremitatea B ar descrie o elipsă (B_1, B_3, B_5 ... etc ...), datorită oscilațiilor neamortizate.

În acestă poziție, momentul de stabilitate este zero. Nivelul uleiului în vasul B' este maxim, iar în vasul A' este minim (diferența de fază fiind T/4); precesia de amortizare generată în sens direct (văzută din Z) tinde să apropie extermitatea B de meridian, cu viteza liniară V_a.

În poziția imediat următoare B'_2 a axei torului, nivelul uleiului continuă să fie mai mare în vasul B'; precesia de amortizare (V_a) este în concordanță de acțiune cu precesia momentului de stabilitate (V_p) și extremitatea B se apropie de direcția nord cu viteza însumată.

În poziția B'_3 a axei torului, uleiul ajunge la același nivel în ambele vase și deci precesia de amortizare devine nulă. Axa torului continuă să se miște numai sub efectul precesiei momentului de stabilitate (înclinarea α este maximă), fiind antrenată astfel la vest de meridian.

După trecerea extremității *B* a torului la vest de meridian (poziția B'_4), nivelul uleiului crește în vasul A' și scade în B', generând astfel o precesie de amortizare de sens invers față de poziția B'_2, orientată tot spre meridian. Precesia de amortizare este în discordanță de acțiune cu precesia momentului de stabilitate, extremitatea *B* a axei torului deplasându-se spre vest, cu o viteză mai redusă decât în cazul existenței oscilațiilor neamortizate.

În poziția B'_5, extremitatea *B* a axei torului revine în orizont. Sub efectul amortizării oscilațiilor deci, în momentul revenirii axei torului în orizont, extremitatea B se află mai aproape de meridian cu cantitatea $B_5\ B'_5$. În această poziție, datorită diferenței de fază a oscilațiilor, nivelul uleiului este maxim în vasul A' și minim în B', situație în care precesia de amortizare devine maximă, cu sensul spre meridian.

În poziția B'_6 a axei torului, precesia de amortizare acționează în concordanță cu precesia momentului de stabilitate, extremitatea *B* apropiindu-se de meridian cu viteza lor însumată. În B'_7, precesia de amortizare este nulă, nivelul uleiului în vasele comunicante devenind același și extremitatea *B* a axei torului trece la est de meridian, sub acțiunea precesiei momentului de stabilitate (unghiul de înclinare α fiind maxim, sub orizont). În poziția B'_8, precesia de amortizare acționează în discordanță cu precesia momentului de stabilitate, reducând viteza de îndepărtare a extremității *B* spre est de meridian. În continuare, extremitatea *B* a axei torului revine în orizont, cu cantitatea $B_1B'_9$ mai aproape de meridian decât în cazul existenței oscilațiilor neamortizate.

Din cele arătate mai sus se conclude că, *acțiunea precesiei de amortizare este în concordanță cu precesia momentului de stabilitate a girosferei când extremitatea B a axei torului se apropie de meridian, mărind viteza ei de apropiere; acțiunea precesiei de amortizare este în discordanță cu precesia momentului de stabilitate, când extremitatea B a axei torului se îndepărtează de meridian, reducând astfel viteza ei de îndepărtare. Sub acțiunea dispozitivului de amortizare, extremitatea B a axei torului descrie în spațiu o curbă în formă de spirală, care după 3-4 oscilații se orientează în meridian, menținându-se apoi stabilizată pe direcția nord adevărat. Astfel, giroscopul cu două grade de libertate și un grad de libertate limitat în orizont a fost transformat în girocompas; extremitatea B a axei giroscopului, de unde torul se vede rotind în sens direct, poate fi denumită deci extremitatea nord a axei giroscopului.*

Ținându-se seama de durata amortizării oscilațiilor la instalațiile cu vase comunicante cu ulei, compasul giroscopic se pune în funcțiune cu patru ore înainte de ieșirea navei în mare, timp suficient pentru orientarea și stabilizarea sa în meridian; există însă instalații moderne, care permit orientarea axei girocompasului într-o poziție apropiată de meridian anticipat punerii în funcțiune, la care durata amortizării oscilațiilor se poate reduce considerabil (la circa 15 minute).

§5 Erorile compasului giroscopic la bordul navei

1 Considerații introductive

Din cele arătate mai sus rezultă că la un girocompas instalat pe o platformă fixă la uscat și pus în funcțiune, după amortizarea oscilațiilor, axa principală se orientează în meridianul locului, extremitatea sa nord indicând direcția nord adevărat. Direcțiile determinate în orizontul adevărat, în raport cu linia nord-sud indicată de un asemenea girocompas, sunt direcții adevărate, lipsite de erori.

Același girocompas instalat la bordul navei, aflată în navigație prezintă o comportare diferită. Mișcările la care nava este supusă (mișcarea navei într-un anumit drum, cu o anumită viteză, creștearea sau reducerea vitezei, schimbările de drum, ruliul și tangajul etc.) generează o serie de erori care fac ca direcția nord girocompas să fie diferită de direcția nord adevărat: prin direcția nord girocompas (ON_g) se întelege direcția determinată de axa principală a compasului giroscopic, indicată de linia nord-sud a rozei acestuia.

Principalele erori care afectează precizia indicațiilor compasului giroscopic sunt următoarele:

a – deviația girocompasului (δg) sau *eroarea de viteză*, generată de mișcarea navei. Mărimea ei este funcție de drumul navei, viteză și latitudinea locului; este independentă de caracteristicile constructive ale compasului giroscopic și de instalarea acestuia la bord. Mărimea acestei erori se poate determina cu precizie și efectul ei se elimină sub forma unei corecții;

b – eroarea cauzată de variația vitezei sau schimbarea drumului navei;

c – eroarea rămasă, reprezentată de unghiul dintre axa principală a girocompasului și noua direcție nord girocompas, corespunzătoare noilor elemente de mișcare ale navei în cazul variației vitezei sau drumului navei;

d – eroarea de balans, generată de ruliul și tangajul navei;

e – erori accidentale, cauzate în principal de antrenarea elementului sensibil al girocompasului la schimbările de drum ale navei, de vibrațiile corpului navei și de variația vitezei de rotație a giroscopului;

f – eroarea de colimație a rozei girocompasului mamă, generată de neparalelismul liniei 0°–180° a rozei cu axa girocompasului – la compasul monogiroscopic sau cu rezultanta mișcărilor de rotație a giroscoapelor, la instalațiile bi-sau trigiroscopice. Această eroare este constantă; mărimea ei este determinabilă și se poate înlătura printr-o orientare corspunzătoare a liniei de credință a giorcompasului mamă; o eventuală eroare rămasă poate fi eliminată prin aplicarea unei corecții constante.

La compasurile moderne, aflate într-o stare normală de funcționare, precizia indicațiilor girocompasului este considerabil mai mare decât la un compas magnetic.

2 Deviația girocompasului

Deplasarea navei într-un anumit drum cu o anumită viteză pe suprafața sferică a Pământului cauzează o mișcare de rotație suplimentară în spațiu a orizontului adevărat: planul orizontului coboară înspre prova navei și se ridică înspre pupa; axa acestei mișcări de rotație a orizontului este axa transversală a navei, orientarea ei fiind deci în funcție de drumul navei, iar viteza unghiulară proporțională cu viteza navei.

Mișcarea navei într-un drum D cu o viteză V (fig. 4-18) se poate imagina descompusă în două mișcări:

– una orientată pe meridian, denumită *componenta meridiană a vitezei*

$$V_1 = V \cos D \tag{4-10}$$

– a doua, orientată pe paralelul locului

$$V_2 = V \sin D \tag{4-11}$$

Componenta V_2 se poate socoti neglijabilă, în raport cu mișcarea de rotație a Pământului de la vest la est, care are o viteză considerabil mai mare.

Componenta V_1 însă are un efect apreciabil, deoarece ea se compune cu mișcarea de rotație a Pământului, reprezentată de vectorul $\overrightarrow{OF}$, dând naștere unei mișcări rezultante $\overrightarrow{OG}$, care exprimă mișcarea reală de deplasare a navei în spațiu.

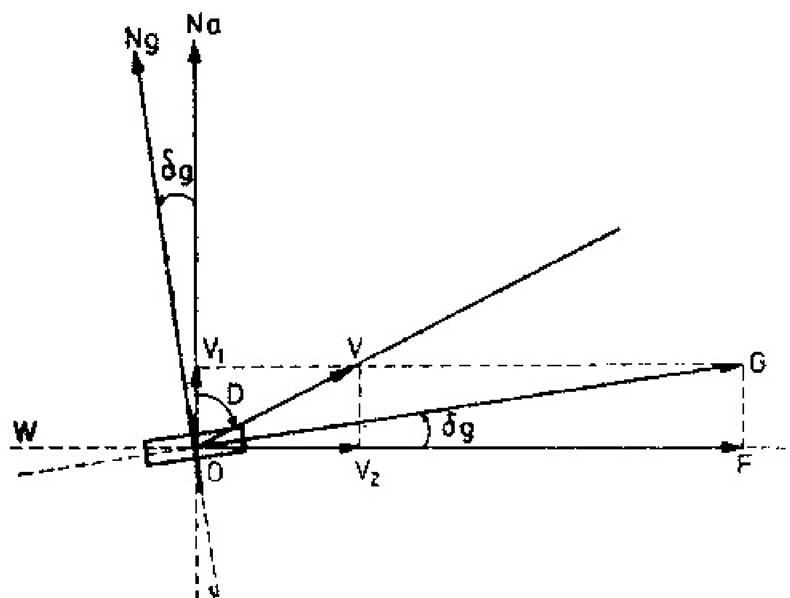


Fig. 4-18

Nava se deplasează deci în spațiu ca și când ar fi antrenată de Pământ într-o mișcare de rotație, în jurul unei axe ONg, normală la vectorul rezultant $\overrightarrow{OG}$. Direcția *ONg*, denumită direcția nord girocompas, reprezintă direcția în care tinde să se orienteze axa principală a girocompasului *AB,* sub acțiunea combinată a rotației Pământului și a mișcării navei.

Direcția nord girocompas *ONg* formează cu direcția nord adevărat *ONa* un unghi δg, denumit *deviația girocompasului sau eroarea de viteză;* valoarea deviației girocompas se deduce din triunghiul *OFG*, dreptunghic în *F*, în care:

$$\sphericalangle FOG = \sphericalangle NaONg = \delta g;$$

$$FG = V_1 = V \cos D;$$

$\overrightarrow{OF}$ reprezintă mișcarea de rotație a Pământului. O navă staționară la ecuator se mișcă în spațiu cu viteza periferică $\overrightarrow{OF} = \omega \cdot R$, iar într-un punct de latitudine φ, cu viteza $\overrightarrow{OF} = \omega R \cos \varphi$ (vezi relația 7-2); ω exprimă viteza unghiulară de rotație a Pământului, iar *R* raza sferei terestre.

Figura 4-18 arată că pentru drumurile cuprinse în cadranul NE, deviația girocompasului δg est vestică sau negativă; mărimea ei este exprimată de relația:

$$\mathrm{tg}\delta g = -\frac{V \cos D}{\omega R \cos \varphi} \tag{4-12}$$

în care, substituind tangenta trigonometrică cu mărimea arcului, deoarece δg ia valori mici, se obține:

$$\delta g = -\frac{V \cos D}{\omega R \cos \varphi}$$

Viteza de rotație a Pământului în timp de o oră este $\frac{360^\circ}{24h} = 15^\circ/\mathrm{h}$; un punct de pe ecuatorul terestru se rotește deci cu viteza $\overrightarrow{OF} = 15^\circ \times 60' = 900'/\mathrm{h} = 900$ Mm/h (considerând 1′ de arc de cerc mare pe sfera terestră egal cu 1Mm). Rezultă că viteza de rotație în spațiu a unui punct de pe un paralel de latitudine φ, în Mm/h, este $\overrightarrow{OF} = 900 \cos \varphi$.

Astfel, pentru a obține δg în grade, funcție de drum și viteza navei în noduri, relația de mai sus se poate scrie în forma:

$$\delta g = -\frac{V \cos D}{900 \cos \varphi} \tag{4-13}$$

Relația (4-13) este folosită în navigație pentru calculul deviației girocompasului; pe baza ei este întocmită *tabela deviației girocompasului*, funcție de latitudine, drum și viteza navei, conținută într-o serie de tabele nautice.*

Formula (4-13) arată că *deviația navei este proporțională cu viteza navei, zero în drumurile est și vest, maximă în drumurile nord și sud.*

Semnul algebric al membrului din dreapta a formulei (4-13), stabilit pentru cadranul NE, se verifică pentru toate cadranele orizontului; *deviația girocompasului este negativă pentru drumurile nordice (270° – 360° – 90°)* și *pozitivă pentru drumurile sudice (90° – 180° – 270°).*

---

* *Tabela deviației girocompasului* este conținută în *Tavole Nautiche* [tabela LI] și în *Conducerea Navei* de Gh. I. Balaban [tabela 1].

Deviaţia girocompasului creşte cu latitudinea; la latitudini mai mici de 60° şi viteze până la 20 Nd, deviaţia girocompasului ia valori cuprinse între ±2°.5

De exemplu, la latitudinea φ = 30° N, *Da* = 15°, *V* = 16 Nd, din *tabela deviaţiei girocompasului* se obţine δg = −1°.1

La girocompasurile tipul Microtecnica, de exemplu, instalate pe navele BUCUREŞTI şi DOBROGEA, deviaţia girocompasului pentru corectarea drumurilor şi relevmentelor se determină pe această bază, folosind *tabela deviaţiei girocompasului.*

Majoritatea tipurilor de compasuri giroscopice moderne sunt prevăzute însă cu un *corector automat „Delta”* pentru deviaţia girocompasului. Acesta efectuează corectarea automată a indicaţiilor *girocompasului mamă, repetitoarelor şi a trasorului de drum* pentru valoarea deviaţiei δg.

Corectorul funcţionează automat pentru drumul navei şi se reglează manual pentru latitudinea locului (la variaţii de 5°), precum şi pentru viteza navei; la o serie de instalaţii, corectorul funcţionează automat şi pentru viteza navei, fiind conectat cu lochul. Reglarea corectorului „Delta” în funcţie de latiutdine şi acolo unde este cazul şi de viteza navei, se efectuează la bord prin grija ofiţerului maritim II.

3 Eroarea cauzată de variaţia vitezei sau schimbarea drumului navei

Presupunem un pendul suspendat la bordul unei nave; atâta timp cât nava este staţionară sau se mişcă cu o viteză constantă, pendulul se menţine în poziţie de echilibru, orientat pe direcţia verticalei locului. Pe timpul creşterii vitezei, pendulul este supus unei abateri spre pupa. Direcţia pe care se orientează pendulul în acest caz este direcţia rezultantei determinată prin combinarea acceleraţiei gravitaţiei cu acceleraţia navei – în sens opus drumului; pentru explicaţia în continuare a fenomenului, să o denumim *direcţia aparentă a gravitaţiei* sub efectul acceleraţiei navei, iar orizontul perpendicular pe această direcţie să-l numim *orizont aparent.*

Creşterea vitezei navei influenţează şi comportarea girocompasului (care are la bază folosirea giroscopului – pendul). Pe timpul cât acţionează acceleraţia navei, forţa *P* a momentului de stabilitate a girosferei (formula 4-8) este orientată pe direcţia aparentă a gravitaţiei, iar orizontul aparent coboară înspre prova navei şi se ridică înspre pupa; axa de rotaţie aparentă a orizontului, cauzată de creşterea vitezei, se confundă cu axa transversală a navei, care trece prin centrul girosferei.

Considerăm nava în drum nord. Pe timpul creşterii vitezei, extremitatea nord a axei girocompasului se menţine în orizontul adevărat, *deasupra* orizontului aparent; în această poziţie ia naştere o mişcare de precesie în sens direct, spre vest (vezi §4, pct. 1), care scoate axa girocompasului din meridian. Abaterea axei girocompasului din meridian astfel generată este denumită *eroarea de variaţie a vitezei navei.** Fenomenul durează atâta timp cât are loc variaţia vitezei.

---

* În unele lucrări de specialitate, această eroare este denumită *eroare balistică;* deoarece eroarea nu este consecinţa unui şoc momentan, iar abaterea cauzată este de durata variaţiei vitezei (de ordinul minutelor), denumirea pare improprie.

În caz de reducere a vitezei, în drum nord, orizontul aparent se ridică înspre prova navei și coboară înspre pupa. Extremitatea nord a girocompasului se află sub orizontul aparent pe timpul reducerii vitezei; mișcarea de precesie generată are loc în sens retrograd, spre est (vezi §4, pct. 1).

În drum 180°, sensul abaterilor extremității nord a girocompasului este invers: la creșterea vitezei navei, spre est și la reducerea vitezei, spre vest.

În drumurile 90° și 270°, axa girocompasului este orientată în axa transversală a navei, care constituie și axa de rotație aparentă a orizontului – determinată de variația vitezei navei, astfel că eroarea este nulă.

Într-un drum oarecare D, la o anumită variație a vitezei $V'-V$ (unde V = viteza inițială și V' = viteza finală), acționează doar componenta meridiană a variației vitezei $(V'-V)\cos D$, cu care eroarea de variație a vitezei navei este proporțională.

De asemenea, acțiunea variației vitezei navei este direct proporțională cu greutatea P a girosferei și cu înălțimea metacentrică a acesteia, a.

Eroarea de variație a vitezei navei (ε) este dată de expresia:

$$\varepsilon = \frac{Pa(V'-V)\cos D}{I\Omega g} \qquad (4\text{-}14)$$

unde: I = momentul de inerție al torului; Ω = viteza unghiulară de rotație a torului; g = accelerația gravitației.

Schimbările de drum, care determină variația componentei meridiane a mișcării navei (formula 4-10), cauzează o eroare similară celei generate de creșterea sau reducerea vitezei navei.

4 Eroarea rămasă

La punctul 3 s-a arătat cum axa girocompasului a fost scoasă din meridian, din poziția sa de echilibru, ca urmare a variației vitezei sau schimbării drumului navei. Schimbarea vitezei sau drumului navei conduce simultan la variația componentei meridiane a mișcării navei (formula 4-10), deci odată cu aceasta și la o anumită variație $\Delta\delta g$ a deviației girocompasului; rezultă că la noua viteză sau în noul drum, noua direcție nord girocompas care devine poziția de echilibru a axei girocompasului este diferită față de direcția nord girocompas inițială (dinaintea schimbării elementelor de mișcare ale navei), cu o mărime $\Delta\delta g$. De exemplu, la latitudinea de 60°, în drum nord, o creștere a vitezei de 8 Nd cauzează o variație $\Delta\delta g$ a deviației girocompasului de 1° spre vest, ca urmare a variației componentei meridiane a mișcării navei; rezultă că noua direcție nord girocompas este deviată spre vest cu 1°.

Mișcarea de precesie cauzată de eroarea de creștere a vitezei navei are loc, în exemplul dat, tot spre vest (vezi pct. 3), adică axa girocompasului tinde să se orienteze în noua poziție de echilibru pe noua direcție nord girocompas.

La terminarea manevrei de schimbare a vitezei sau drumului navei (cu o durată de ordinul minutelor), datorită precesiei generate, axa principală a girocompasului

poate să ocupe în raport cu noua direcție nord girocompas una din următoarele poziții:

a – axa girocompasului se află orientată pe noua direcție nord girocompas;

b – axa girocompasului nu a ajuns încă pe noua direcție nord girocompas;

c – axa girocompasului, în cursul precesiei efectuate, a depășit noua direcție nord girocompas.

În continuare, în cazurile *b* și *c*, axa principală a girocompasului va oscila încet, ca urmare a precesiei generate de schimbarea vitezei sau drumului navei, până când va ajunge pe noua direcție nord girocompas. Până la realizarea acestei coincidențe, unghiul format la un moment dat între axa principală a girocompasului și noua direcție nord girocompas constituie așa-numita *eroare rămasă*. Ea este maximă la terminarea manevrei de schimbare a vitezei sau drumului navei, se micșorează continuu pe măsură ce axa girocompasului se apropie de direcția nord girocompas, devenind zero în momentul realizării coincidenței.

Desigur, situația cea mai favorabilă este constituită de cazul în care mișcarea de precesie generată de variația vitezei sau drumului navei orientează direct axa principală a girocompasului – pe noua direcție girocompas; în acest caz, eroarea rămasă este nulă. Pentru a se realiza o asemenea situație favorabilă trebuie ca eroarea ε de variație a vitezei navei (formula 4-14) să fie egală cu variația $\Delta\delta g$ a deviației girocompasului; $\Delta\delta g$ se calculează din variația proiecției meridiane a variației vitezei navei $(V'-V)\cos D$, aplicând formula (4-12):

$$\Delta\delta g = \frac{(V'-V)\cos D}{\omega R \cos\varphi} \qquad (4\text{-}15)$$

Egalitatea celor două mărimi ε și $\Delta\delta g$ se poate realiza asigurând o valoare corespunzătoare înălțimii metacentrice *a*; la aceeași latitudine, soluția este valabilă în toate drumurile, deoarece atât ε cât și $\Delta\delta g$ variază proporțional cu $\cos D$.

Egalând expresiile care dau pe ε (formula 4-14) și pe $\Delta\delta g$ (formula 4-15):

$$\frac{Pa(V'-V)\cos D}{I\Omega g} = \frac{(V'-V)\cos D}{\omega R \cos\varphi}$$

se determină valoarea favorabilă a înălțimii metacentrice a girosferei:

$$a = \frac{I\Omega g}{P\omega R \cos\varphi} \qquad (4\text{-}16)$$

Introducând această valoare a înălțimii metacentrice *a* în formula (4-9), care dă perioada oscilațiilor giroscopului:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I\Omega}{Pa\,\omega\,\cos\varphi}}$$

se obține:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{R}{g}} \qquad (4\text{-}17)$$

care reprezintă perioada de oscilație favorabilă a girocompasului cu înălțimea metacentrică a , (dată de formula 4-16) la latitudinea φ, la care eroarea ε de variație a vitezei navei este egală cu variația $\Delta\delta g$ a deviației girocompasului. Considerând raza sferei terestre $R = 6.4 \times 10^8$ cm și $g = 981$ cm/s^2, se obține T = 5075 secunde = 84.6 min.

La un asemenea girocompas, la latitudinea φ, eroarea rămasă este nulă.

La navele care navigă într-o zonă restrânsă, fără variații mari de latitudine, înălțimea metacentrică a se poate stabili pentru latitudinea apelor respective. Pentru navele de cursă lungă, practic înălțimea metacentrică a se determină pentru latitudini medii. Schimbarea latitudinii nu afectează eroarea ε de variație a vitezei navei, ci numai variația $\Delta\delta g$ a deviației girocompasului; astfel, eroarea rămasă, la latitudinile la care se navigă în mod frecvent, nu depășește practic valoarea de 1°.

5 Eroarea de balans

La experimentarea prototipului compasului monogiroscopic la bordul navei, s-a constatat că în condiții de ruliu, indicațiile erau corecte în drumurile cardinale, însă afectate de erori în celelate drumuri. Eroarea maximă apărea în drumurile intercardinale; în condiții de ruliu de amplitudine mare, eroarea era apreciabilă, atingând valori până la 30°, ceea ce făcea ca un asemenea compas să nu poată fi utilizat în navigație. Aceasta este *eroarea de balans*, care se manifestă pe timpul ruliului și al tangajului, în ciuda existenței sistemului de suspensie cardanică.

În drum 0° sau 180°, în *condiții de ruliu*, asupra girocompasului acționează un cuplu de forțe în plan vertical E–W, care tinde să deplaseze axa sa principală paralelă cu ea însăși; în această situație nu se produce nici o mișcare de precesie orizontală și nici o deviere a axei girocompasului.

În drum 90° sau 270°, în condiții de ruliu, girocompasul tinde să penduleze în planul vertical al meridianului (N–S); la sfârșitul fiecărei perioade de ruliu iau naștere forțe de inerție care acționează ca un cuplu vertical, cu tendința de a ridica sau coborî extremitățile axei principale a girocompasului. Aceste cupluri de forțe, care schimbă continuu de sens la sfârșitul fiecărei perioade de ruliu a navei, generează mișcări de precesie ale axei girocompasului în plan orizontal, al căror sens se schimbă, de asemenea, în ritmul perioadei de ruliu. Aceste mișcări de precesie ale axei girocompasului tind să se anuleze una pe alta, datorită faptului că perioada de ruliu a navei (normal, la navele maritime de transport, de 8 –18 secunde) este incomparabil mai mică decât perioada mișcării de precesie (circa 90 minute). Rezultă că axa girocompasului își menține direcția în meridian, fără influențe perturbatoare sensibile.

Într-un drum intercardinal, de exemplu 45°, la sfârșitul fiecărei perioade de ruliu, se manifestă o forță de inerție care tinde să penduleze giroscopul într-un plan vertical perpendicular pe drumul navei, orientat NW–SE. Această forță cu orientarea NW–SE se poate imagina descompusă într-o componentă meridiană, de-a lungul meridianului și o componentă E–W, de-a lungul paralelului. Componenta E–W provoacă mai întâi o pendulare a girocompasului în jurul axei N–S, în ritmul ruliului;

în urma acestei pendulări, componenta meridiană a forței de inerție acționează asupra centrului de greutate al sistemului nu numai în planul meridianului axei girocompasului, ci alternativ – la est și la vest de acesta. Din această cauză, acțiunea forțelor de inerție nu se mai anulează la fiecare schimbare de sens a ruliului; dimpotrivă, în anumite condiții ele se însumează, cauzând o abatere a axei girocompasului din meridian.

Cele arătate mai sus se confirmă și pe cale experimentală:în drumurile cardinale, mișcarea de ruliu a navei nu are influențe perturbatoare sensibile; eroarea de balans se manifestă în drumurile din afara celor cardinale, cu valori maxime în drumurile intercardinale.

În drumurile intercardinale, mișcarea de ruliu provoacă abateri ale axei principale a girocompasului, care tind să o apropie de axa longitudinală a navei. Eroarea de balans are deci un caracter cuadrantal: este zero în drumurile cardinale, apoi crește atingând valoarea maximă în drumurile intercardinale; este pozitivă (estică) în cadranele NE și SW (în drumurile 0°–90° și 180°–270°) și negativă (vestică) în cadranele SE și NW (în drumurile 90°– 180° și 270°–360°).

Mișcarea de tangaj, în drumurile intercardinale, produce un fenomen analog; efectele giroscopice ale tangajului echivalează cu cele ale ruliului, în jurul unei axe decalate cu 90°. Astfel, de exemplu, mișcarea de tangaj în drum 45° provoacă aceleași efecte giroscopice ca mișcarea de ruliu în drum 315°, generând o abatere vestică (negativă). Mișcarea de tangaj provoacă abateri ale axei principale a girocompasului, care tind să o apropie de axa transversală a navei; eroarea de balans generată de tangaj are tot un caracter cuadrantal, de semn contrar însă cu cea provocată de ruliu.

Construcția compasului trigiroscopic și ulterior a celui bigiroscopic, precum și realizarea unor sisteme eficiente de compensare a erorii de balans, au redus într-o măsură apreciabilă valoarea acestei erori, la unele tipuri de girocompasuri moderne devenind practic neglijabilă. Sistemul folosit la compensarea erorii de balans trebuie studiat pentru fiecare tip de girocompas în parte.

6 Erori accidentale

O serie de alte erori accidentale ale girocompasului, care în anumite situații pot atinge valori apreciabile, își au originea în una din următoarele cauze: antrenarea elementului sensibil al girocompasului la schimbarea de drum a navei, vibrații ale corpului navei sau variații ale vitezei de rotație a giroscopului (giroscoapelor).

Eroarea de antrenare, ca și la compasul magnetic, apare ca o consecință a frecărilor excesive între elementul sensibil al girocompasului și partea fixă a navei; în aceste condiții, elementul sensibil este antrenat de mișcarea navei la schimbări sau abateri de la drum, în sensul acesteia.

La girocompasurile moderne, casele constructoare asigură frecări minime între elementul sensibil și părțile fixe ale navei; apariția unei asemenea erori constituie indiciul unor uzuri excesive.

Erorile cauzate de vibrațiile corpului navei sunt funcție de amplitudinea și frecvența acestor vibrații, provocate de mașini, elice etc. Reducerea acestor erori se relizează prin alegerea unui loc potrivit pentru montarea girocompasului la bord, cu vibrații minime.

Erorile generate de variații ale vitezei de rotație a giroscopului apar ca o consecință a variației tensiunii curentului de alimentare a instalației girocompasului. La navele moderne, la care grupurile generatoare sunt asigurate cu dispozitive automate menite să asigure un număr de rotații cât mai constant al motorului de acționare, în condiții normale de funcționare, variațiile de tensiune ale curentului electric sunt neînsemnate și deci această eroare a girocompasului este neglijabilă.

7 Precizia indicațiilor girocompasului

Precizia indicațiilor girocompasului, a drumului navei și a relevmentelor, depinde de o serie de factori, între care principali sunt următorii:

– parametrii constructivi ai girocompasului și condițiile de întreținere a instalației la bord;

– locul în care girocompasul este instalat la bord și regimul de vibrații în compartimentul respectiv;

– starea mării și comportarea navei în condiții de vreme rea;

– latitudinea locului. Momentul directiv al girocompasului este maxim la ecuator, scade cu latitudinea și devine nul în polii tereștri.

Firma Sperry, de exemplu, asigură pentru tipurile obișnuite de girocompasuri, care se instalează pe navele comerciale, o precizie de ±0°·2 în condiții normale de navigație și de ±2° pe mare foarte montată. Aceeași firmă însă este în măsură să livreze girocompasuri pentru care se asigură o precizie de ±0°·02, în condiții normale de navigație și de ±0°·05, pe mare foarte montată.

Dacă pe timpul navigației se constată indicații neregulate ale compasului giroscopic, acestea constituie indiciul unei funcționări anormale a instalației; într-un asemenea caz, conducerea navei se asigură după compasul magnetic, până când se face verificarea instalației și repunerea ei în stare normală de funcționare.

Cea mai eficientă veghe a funcționării girocompasului pe timpul navigației se realizează printr-o comparație continuă a indicațiilor acestuia cu cele ale compasului magnetic.

§6 Utilizarea compasului giroscopic la bord. Convertirea drumurilor și relevmentelor

1 Instalarea girocompasului la bordul navei

Girocompasul mamă se recomandă a fi instalat la bord într-un loc cu vibrații reduse și cât mai aproape de intersecția axei longitudinale de ruliu cu axa transversală de tangaj, unde amplitudinea acestor mișcări este minimă; de asemenea, este indicat a

se evita zonele de la bord cu temperaturi ridicate (în apropierea compartimentului căldări etc.) sau cu variații mari de temperatură.

Pentru a se face posibilă reglarea coincidenței repetitoarelor cu girocompasul mamă, trebuie să se asigure legătură telefonică sau prin porta-voce a compartimentului, unde acesta este instalat, cu comanda.

Repetitoarele compasului giroscopic se instalează în locurile impuse de necesitățile conducerii navei, denumirea lor fiind dată de funcția pe care o îndeplinesc la bord: *repetitor de drum*, instalat în timonerie, lângă timonă, pentru guvernarea navei; *repetitoare pentru relevmente*, instalate de regulă în borduri, pe puntea de comandă; se mai instalează la postul de comandă de rezervă, tot ca repetitor de drum (la navele prevăzute cu un asemenea post) și în camera cârmei.

Repetitoarele pentru relevmente prezintă o importanță deosebită pentru conducerea navei, determinarea poziției navei cu relevmente la reperele de navigație de la coastă etc. Ele se montează pe puntea de comandă, în borduri, fiind fixate în punte pe niște coloane, astfel ca să asigure un arc de orizont liber cât mai larg pentru efectuarea observațiilor; de la ambele repetitoare pentru relevmente, trebuie să se asigure posibilitatea observării întregului orizont.

Aceste repetitoare se montează pe suspensie cardanică, astfel ca în momentul relevării să se asigure orientarea în orizont a alidadei.

Linia de credință a repetitoarelor pentru relevmente trebuie orientată cu multă atenție, paralel cu planul diametral al navei; orice eroare în orientarea liniei de credință se transmite în totalitate în valoarea relevmentelor observate. Pentru montarea repetitoarelor se dau următoarele indicații practice:

– se măsoară distanța transversală de la planul diametral al navei, la proiecția centrului rozei repetitorului pe puntea de comandă;

– la aceeași distanță transversală, în raport cu planul diametral al navei, se instalează un semnal spre prova (de exemplu, pe teugă) și un altul spre pupa (pe dunetă sau pe puntea bărcilor);

– repetitorul se orientează cu gradația 0°–180° a cercului său azimutal, deci cu linia sa de credință, în aliniamentul celor două semne, vizându-le succesiv cu ajutorul alidadei. Pentru orientare, coloanele repetitoarelor se pot roti în jurul axei verticale a rozei; după orientare, coloanele se fixează în punte. Orientarea este posibilă și cu un singur semn, plasat spre prova sau pupa.

După orientarea celor două repetitoare pentru relevmente, de pe puntea de comandă, în modul indicat mai sus, se procedează la verificarea acestei operațiuni, astfel:

– se relevează de la ambele repetitoare un obiect de la bord aflat în planul longitudinal al navei (bastonul din prova sau bastonul de pavilion din pupa). Dacă orientarea repetitoarelor s-a făcut corect, unghiurile citite la cele două cercuri azimutale față de planul longitudinal trebuie să fie egale; dacă se citesc relevmentele prova, în sistem circular, suma lor trebuie să fie 360°. Dacă se impun mici corectări, acestea se realizează cu ajutorul dispozitivelor de reglare aflate la baza coloanei repetitorului;

– se relevează simultan, de la ambele repetitoare, un astru aflat aproape de orizont sau un obiect îndepărtat. Egalitatea relevmentelor prova citite indică corecta orientare a repetitoarelor.

Repetitorul permite măsurarea cu ajutorul alidadei a *relevmentului girocompas (Rg),* făcându-se citirea la roză sau a *relevmentului prova,* citit la cercul azimutal; *relevmentul girocompas este unghiul format între direcția nord girocompas, indicată de linia 0°–180° a rozei repetitorului și direcția la obiect* (fig. 4-19).

Repetitorul de drum are rolul de a indica doar *drumul girocompas* aflat la girocompasul mamă; *drumul girocompas (Dg)* este *unghiul format între direcția nord girocompas, indicată prin linia 0°–180° a rozei girocompasului și axa longitudinală a navei* (fig. 4-19).

De aceea, repetitorul de drum se instalează într-o poziție oarecare în apropierea timonei, astfel ca să facă posibilă citirea comodă și precisă a drumului girocompas. La navele cu compas magnetic cu reflexie instalat pe puntea etalon, repetitorul de drum se montează în prova timonei, cu roza înclinată la 40°-45° față de orizont, astfel ca să permită citirea comodă de către timonier.

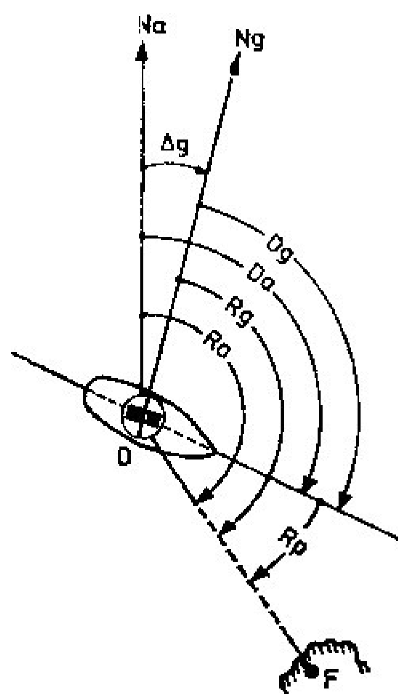


Fig. 4-19

La navele cu compas magnetic de drum instalat în timonerie, în prova timonei, în planul timonei, în planul diametral al navei, repetitorul de drum se instalează lângă timonă, într-un bord, de asemenea cu roza înclinată și orientată spre timonier.

Orientarea liniei de credință a girocompasului mamă trebuie să fie paralelă cu axa longitudinală a navei; eventuala eroare constantă a girocompasului, notată cu *A* (vezi pct. 2, de mai jos), se elimină prin corectarea orientării liniei de credință a girocompasului mamă.

Operațiunea se execută cu nava staționară (acostată sau ancorată) după orientarea *repetitoarelor pentru relevmente*, astfel:

– se pune girocompasul în funcțiune și se așteaptă până când se asigură orientarea în meridian (conform instrucțiunilor de exploatare a instalației);

– se face coincidența repetitoarelor cu girocompasul mamă;

– se măsoară relevmentul girocompas *(Rg)* la repetitoare la un obiect îndepărtat, de relevment adevărat *(Ra)* cunoscut (scos din hartă) sau la un astru, de azimut *(Az)* determinat (calculat pentru momentul observației – vezi cap. 15);

– se calculează diferența $Ra(Az) - Rg = A$, unde *A* reprezintă eroarea constantă a girocompasului. Dacă *A* este zero, linia de credință are o poziție corectă. Dacă *A* are o valoare oarecare pozitivă, corectarea se face prin rotire spre dreapta a habitaclului cu linia de credință, de un unghi egal cu valoarea erorii; pentru această operațiune, girocompasurile sunt prevăzute cu un dispozitiv special, care permite rotirea habitaclului de unghiul și în sensul dorit. La o valoare negativă a lui *A*, rotirea habitaclului se face spre stânga.

Eroarea constantă *A*, astfel corectată, include și eroarea de colimație a rozei girocompasului mamă (vezi §5, pct. 1).

2 Corecția girocompasului (Δg). Convertirea drumurilor și relevmentelor

Corecția girocompas (Δg) este unghiul format între direcția nord adevărat și direcția nord girocompas (fig. 4-19): ea este dată de relațiile:

$$\Delta g = Ra - Rg \qquad (4\text{-}18)$$

$$\Delta g = Da - Dg \qquad (4\text{-}19)$$

La un girocompas în stare normală de funcționare, la latitudini frecvente navigației, corecția girocompasului are valori mici și se compune din:

– *deviația girocompasului* (δg) exprimată de formula (4-13), care variază în funcție de viteza navei, drum și latitudinea locului. Așa cum s-a arătat la §5, punctul 2,

– această eroare se corectează prin calcul, folosind tabela deviației girocompasului

sau automat, prin corectorul „Delta” – la instalațiile prevăzute cu un asemenea dispozitiv;

– eroarea constantă *A* a girocompasului.

La un girocompas mamă a cărui linie de credință s-a orientat în modul arătat mai sus, când nava este staționară, corecția girocompasului în mod normal trebuie să fie egală cu zero; în acest caz, când nava se află în mișcare, corecția girocompasului trebuie să fie egală cu deviația girocompasului δg, dacă instalația nu este prevăzută cu un corector automat „Delta” și egală cu zero, dacă are un asemenea corector.

La un girocompas fără corector automat „Delta”, pe timpul navigației, controlul corecției girocompasului se efectuează astfel:

– se relevează obiectul unui aliniament în momentul trecerii navei prin acesta, un obiect îndepărtat sau un astru și se citește relevmentul girocompas *(Rg);*

– se determină relevmentul adevărat *(Ra)* al aliniamentului, al obiectului îndepărtat sau azimutul *(Az)* la astru și se calculează $\Delta g = Ra\ (Az) - Rg$;

– dacă Δg obținut este diferit de δg, se repetă operația de mai sus o dată sau de două ori, la intervale de circca 15 minute, pentru a ne convinge că diferența nu este

cauzată de o eroare de observație sau de o eroare oarecare a girocompasului, capabilă să scoată girocompasul din poziția sa de echilibru, în momentul măsurării relevmentului girocompas;

– în cazul în care Δg se menține constant, presupunând bineînțeles că viteza și drumul navei s-au menținut aceleași pe timpul observațiilor executate, se calculează eroarea constantă A a girocompasului:

$$A = \Delta g - \delta g \qquad (4\text{-}20)$$

Dacă repetitoarele pentru relevmente au linia de credință orientată corect și instalația se află în stare normală de funcționare, eroarea constantă A astfel determinată poate să aibă una din următoarele cauze:

– repetitorul pentru relevmente nu este în coincidență cu girocompasul mamă. În acest caz eroarea poate fi corectată refăcând coincidența acestora;

– existența unei erori de colimație a rozei girocompasului mamă. Într-un asemenea caz, dacă valoarea este mare, ea poate fi corectată prin rotirea corespunzătoare a liniei de credință a girocompasului mamă, în modul arătat mai sus.

Eroarea constantă A a unui repetitor pentru relevmente astfel determinată se atribuie și repetitoului de drum la convertirea drumurilor, dacă cele două repetitoare sunt în coincidență.

La un girocompas cu corector automat „Delta". corecția girocompasului Δg este egală cu eroarea constantă A, deci:

$$\Delta g = A \qquad (4\text{-}21)$$

Relațiile pentru convertirea drumurilor și relevmentelor determinate cu ajutorul compasului giroscopic se deduc din figura din 4-19:

– relații între Da și Dg:

$$Da = Dg + \Delta g \qquad (4\text{-}22)$$

$$Dg = Da - \Delta g \qquad (4\text{-}22')$$

– relații între Ra și Rg:

$$Ra = Rg + \Delta g \qquad (4\text{-}23)$$

$$Rg = Ra - \Delta g \qquad (4\text{-}23')$$

– relații între Rp, Dg și Rg:

$$Rg = Rp + Dg \qquad (4\text{-}24)$$

$$Rp = Rg - Dg \qquad (4\text{-}24')$$

$$Dg = Rg - Rp \qquad (4\text{-}24'')$$

Exemple de convertiri la un girocompas fără corector automat „Delta":

Exemplul 1. La plecarea din portul Constanța, o navă trece prin aliniamentul farul (vechi) Constanța – Abator ($Ra = 268°.4$); nava merge în $Da = 15°$, viteza = 12Nd, $\varphi = 44°10'$ N. În momentul trecerii prin aliniament se măsoară $Rg = 268°.2$

Se cere Δg, δg și A.

Rezolvare:

$Ra = 268°.4$
$- Rg = 268°.2$
$\Delta g = +0°.2$ *Observație:* δg se scoate din *tabela deviației girocompasului*, în
$- \delta g = -1°.0$ funcție de φ , D și V.
$A = +1°.2$

Exemplul 2. Având corecția constantă $A = +1°.2$, nava trebuie să ia $Da = 178°$, viteza 16 Nd; $\varphi = 45°12'$ N. Se cere drumul girocompas care urmează a fi ordonat timonierului.

Rezolvare:

Calculul lui Δg		*Calculul lui* Dg
$A = +1°.2$		$Da = 178°.0$
$+ \delta g = +1°.5$		$- \Delta g = +2°.7$
$\Delta g = +2°.7$	(din tabela δg)	$Dg = 175°.3$

Exemplul 3. În condițiile de navigație din exemplul 2, se măsoară $Rg = 258°.4$ la un far. Se cere relevmentul adevărat.

Rezolvare:

$Rg = 258°.4$
$\pm \Delta g = +2°.7$
$Ra = 261°.1$

Exemple de convertiri la un girocompas cu corector automat „Delta".

Exemplul 4. La plecarea din portul Constanța se trece prin aliniamentul farul (vechi) Constanța – Abator ($Ra = 268°.4$) și se măsoară $Rg = 268°.9$. Se cere corecția constantă A a girocompasului.

Rezolvare:

$Ra = 268°.4$
$- Rg = 268°.9$
$\Delta g = -0°.5 = A$

Exemplul 5. Se scoate din hartă $Da = 246°$; $A = -0°.5$. Să se determine drumul girocompas.

Rezolvare:

$Du = 246°$
$- \Delta g = -0°.5$
$Dg = 246°.5$

5 DETERMINAREA DISTANȚEI PARCURSE DE NAVĂ

§1 Generalități

Determinarea distanței parcurse de navă într-un anumit interval de timp constituie o problemă deosebit de importantă, atât în navigația costieră, cât și în cea de la larg. Se poate afirma că elementele fundamentale în navigație sunt determinarea direcțiilor la bord și a distanței parcurse de navă.

Mijloacele de navigație folosite pentru determinarea vitezei și a distanței parcurse de navă se numesc *lochuri*. Primul loch folosit în navigațoie, denumit *loch ordinar*, a fost realizat prin anul 1620, în perioada velierelor; principiul care stă la baza utilizării acestui loch este prezentat în „Introducere".

În secolul al XIX-lea, odată cu extinderea propulsiei mecanice a navelor, lochul ordinar a fost înlocuit cu *lochul mecanic*, care determină distanța parcursă cu ajutorul unei elici de pas constant, remorcată în pupa navei cu ajutorul unei saule; fiecare rotație a elicii lochului reprezintă o anumită distanță parcursă de navă.

Tehnica modernă a creat noi tipuri de lochuri: *lochul hidromecanic*, care păstrează principiul lochului mecanic într-o formă mult evoluată din punct de vedere constructiv, oferind precizie și condiții mai sigure în exploatare; *lochul hidrodinamic*, care determină viteza navei funcție de presiune dinamică opusă de apă la deplasarea navei; *lochul ultrason Doppler*, care măsoară viteza navei cu ajutorul ultrasunetelor, folosind *efectul Doppler*.

La navele maritime moderne și în mod deosebit la navele mari, elicea navei se folosește și ca loch; după terminarea construcției navei, cu ocazia probelor de mare se procedează și la determinarea vitezei navei funcție de numărul de rotații ale elicii.

Normele Registrului Naval Român prevăd obligativitatea dotării navelor maritime comerciale cu un loch mecanic și un loch hidrodinamic.

Lochurile, ca orice aparat de măsură, au anumite erori în indicarea distanței parcurse; lochurile hidromecanice, hidrodinamice și cele ultrason oferă posibilitatea corectării acestor erori prin niște dispozitive de reglare. Erorile rămase după reglare, de regulă de valori reduse, se determină prin anumite procedee de navigație. Operațiunea poartă denumirea de „etalonarea lochului"; eroarea determinată se folosește la corectarea indicațiilor lochului pentru obținerea distanței reale parcurse de navă.

În cele ce urmează se vor prezenta principiile de funcționare și modul de utilizare în navigație a tipurilor de lochuri folosite la bordul navelor maritime comerciale și anume:

- lochul mecanic;
- lochul hidromecanic;
- lochul hidrodinamic;
- elicea navei ca loch;
- metoda lochului improvizat ("lochul olandezului);
- lochul ultrason Doppler.

§2 Lochul mecanic (patent log, mechanical log, rail log)

Lochul mecanic se compune din următoarele părți (fig. 5-1):

- *elicea lochului* (1) *și para de legătură* (2). Elicea are patru pale cu pas constant. Para de legătură servește ca mijloc de legare între elice și saula lochului, având rolul ca prin greutatea ei să asigure elicii o imersiune favorabilă pe timpul funcționării;
- *saula lochului* (3), din împletitură "engleză", servește la remorcarea elicii și la transmiterea la bord a rotațiilor acesteia. Lungimea saulei se stabilește între 75-130 m funcție de mărimea navei, viteză și înălțimea pupei, astfel ca elicea lochului să fie scoasă în afara curenților care se formează în pupa. Experimental s-au stabilit următoarele lungimi minime ale saulei funcție de viteza navei: 75 m la viteza de 10 Nd. 90 m la 14 Nd, 110m la 16 Nd și 130 m la 18 Nd;
- *roata volantă*, cu rolul de uniformizare a rotirii sistemului remorcat;
- *contorul* (4) de înregistrare a distanței parcurse, fixat pe copastie, la pupa, în bordul de sub vânt, sau la capătul unui tangonet, la pupa, are rolul de a transforma mișcarea de rotație transmisă de elicea lochului prin intermediul saulei în indicații de distanță parcursă.

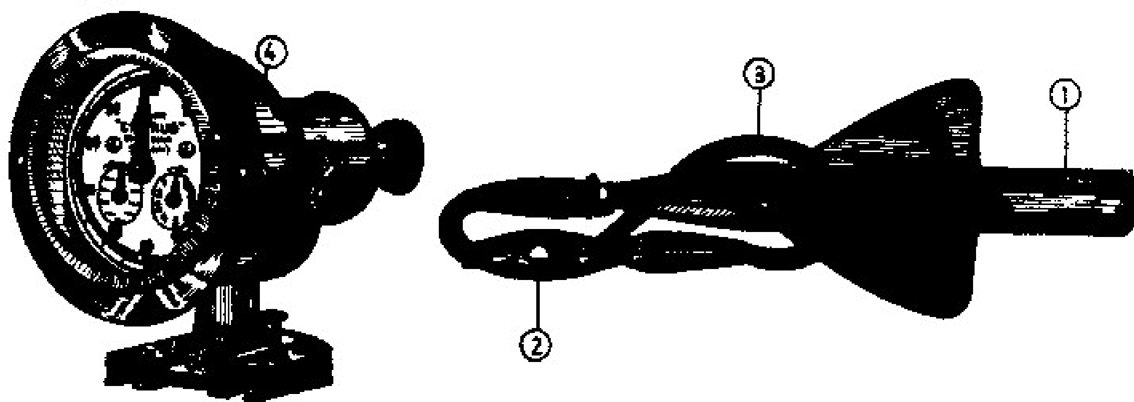


Fig. 5-1

Distanța parcursă de navă într-un interval de timp și indicată de loch este funcție de numărul de rotații transmis de elicea lochului la contor, știind că fiecare rotație a acesteia reprezintă un anumit spațiu parcurs de navă. Contorul primește mișcarea de rotație a elicii, pe care o transformă în indicații de distanță prin intermediul unui

mecanism şi o înregistrează pe un cadran cu ace indicatoare. Cadranul contorului permite citirea distanţei parcurse de navă la precizie de 0.1 Mm.

Lochurile mecanice moderne sunt prevăzute cu repetitoare electrice montate la comandă. Transmiterea indicaţiilor la repetitoare se face de la contorul de înregistrare a distanţei printr-un contactor electric; acest dispozitiv stabileşte contacte electrice cu o frecvenţă proporţională cu viteza de rotaţie a lochului, care acţionează un sistem electromagnetic de urmărire al repetitoarelor.

Lochul mecanic se lasă la apă prin grija ofiţerului de cart, după ieşirea navei în mare; contorul lochului se fixează la pupa, în bordul de sub vânt. Distanţa parcursă de navă se determină din diferenţa citirilor la loch făcute în cele două momente care delimitează intervalul de timp care interesează.

Viteza navei în noduri se obţine din spaţiul parcurs de navă, în mile marine, raportat la intervalul de timp în ore.

Ştiind că $V\,(\text{cab/min}) = \dfrac{V(\text{Nd})}{6}$ (vezi relaţia 1-19), pentru determinarea vitezei navei se recomandă şi următorul procedeu: se citeşte distanţa parcursă de navă în cabluri într-un interval de timp de 6 minute (controlat cu un secundometru); numărul de cabluri parcurs de navă în timp de 6 minute reprezintă viteza navei în noduri.

Lochurile mecanice folosite la bordul navelor noastre maritime comerciale sunt de diferite tipuri ("LZB" – sovietic, "Walker's Cherub Ship log" etc.); realizarea lor tehnică este însă foarte asemănătoare, iar utilizarea lor în navigaţie, practic identică. Se pot folosi cu rezultate satisfăcătoare la viteze cuprinse între 4–20 Nd.

Indicaţiile lochului mecanic sunt afectate de erori accidentale apreciabile în condiţii de mare agitată, îndeosebi când se navigă cu valul din prova sau pupa; erorile sunt mai mici când se navigă în aliura între valuri.

Există riscul pierderii elicii lochului prin ruperea saulei în ape în care se întâlnesc corpuri plutitoare; cazul este frecvent în zona costieră ecuatorială, unde torenţii de apă antrenează la mare crăci sau trunchiuri de copaci. De asemenea, rechinii sunt duşmanii de temut ai elicii lochurilor mecanice. De aceea trebuie să se asigure la bord cel puţin o elice şi o saulă de rezervă.

Înainte de intrarea în porturi, pe râuri sau canale, în strâmtori, în zone cu gheţuri în derivă etc., lochul mecanic se scoate de la apă prin grija ofiţerului de cart, folosind procedeul practic bine cunoscut la bordul navelor – de preîntâmpinare a răsucirii saulei.

§3 Lochul hidromecanic (bottom log)

Lochurile hidromecanice folosesc acelaşi principiu de funcţionare ca şi lochurile mecanice, dar sunt considerabil superioare din punct de vedere constructiv. Distanţa parcursă, respectiv viteza navei se determină pe baza numărului de rotaţii pe care îl execută o elice fixată în afara carenei, sub acţiunea deplasării navei. La parcuregerea unei anumite distanţe de către navă, determinată funcţie de rotaţiile elicii lochului, se stabileşte un contact electric; distanţa parcursă, respectiv viteza navei, se determinată pe baza frecvenţei contactelor stabilite.

Lochul *Chernikeeff* este tipul de loch hidromecanic folosit cel mai frecvent la bordul navelor maritime comerciale. În cele urmează se arată părţile lui principale, principiul de funcţionare şi modul de utilizare la bord (fig. 5-2).



Fig. 5-2

Corpul lochului cu mecanismul imers se compune din două părţi:

– *partea fixă* (3), de formă tubulară, care este montată în interiorul navei, în "puţul lochului";

– *spada lochului cu mecanismul imers* (1), la a cărei parte inferioară se află elicea (2).

Corpul lochului se montează pe fundul navei într-un puț special construit, în spațiul *dublului-fund*. Spada se scoate în afara corpului navei în vederea punerii lochului în funcțiune, deschizând valvula de fund (4), acționată prin roata de valvulă (5); înainte de intrarea în port sau de câte ori această operațiune se impune, spada se trage în interiorul părții fixe tubulare (3), închizând valvula de fund (4).

Elicea lochului (2) se scoate prin intermediul spadei la cca 45 cm sub carena navei pentru a nu fi influențată de eventuali curenți neregulați ai apei, formați de îmbinările tablelor de fund, depuneri etc. Ea se rotește ca urmare a deplasării navei, acționând un *mecanism imers* de închidere și deschidere succesivă a contactelor electrice, cu o frecvență funcție de viteza de rotire a elicii lochului. Mecanismul imers lucrează în ulei, în interiorul spadei; apa nu poate să pătrundă în interiorul spadei, la mecanisme, deoarece presiunea uleiului este superioară presiunii apei. Micile pierderi de ulei pe la axul elicii se completează de către un injector special; presiunea uleiului se controlează cu un manometru (6) montat în parte superioară a corpului lochului.

Mecanismul imers de închidere și deschidere a contactelor acționat de elicea lochului, transmite impulsurile electrice la aparatul central (7), la spații egale cu 1/400 Mm; alimentarea electrică a instalației se face la curent de 220/110 V de la rețeaua bordului, printr-un comutator (10).

Impulsurile electrice transmise de mecanismul imers sunt primite în releul principal al aparatului central (7), de unde se ramifică spre releul contorului de distanță (8) și releul indicatorului de viteză (9). În releul indicatorului de viteză se efectuează raportul dintre spațiul parcurs și timp, printr-un mecanism special, obținându-se astfel viteza navei.

Contorul de distanță (8) are patru indicatoare și permite citirea comodă a distanței la o precizie de 0.01 Mm, de la zero la 10 000 Mm.

Lochurile Chernikeeff monatate la unele nave nu au indicator de viteză. La acestea viteza navei se determină cu ajutorul unei tabele („*Speed table*") fixată pe capacul aparatului central, procedându-se astfel:

– deasupra tabelei, pe capacul aparatului central, un bec emite semnale luminoase de culoare albastră odată cu închiderea contactelor electrice de către mecanismul imers, la spații egale cu 1/1400 Mm;

– cu ajutorul unui secundometru se stabilește timpul la precizie de 0.1 secunde, scurs între 21 semnale luminoase;

– se intră în "*Speed table*" cu timpul în secunde pe coloana „*Time in seconds*" și se citește viteza navei pe coloana „*Speed in Knots*".

Explicația procedeului este foarte simplă. În intervalul a 21 semnale luminoase, spațiul parcurs de navă este de 20/400 Mm; în intervalul de timp de *n* secunde, viteza navei în noduri (= spațiul parcurs în 3600 de secunde) este dată de relația:

$$V(\mathrm{Nd}) = \frac{20 \times 3600}{n \times 400} \qquad (5\text{-}1)$$

Relația 5-1 este rezolvată de tabela amintită.

Celelalte tipuri de lochuri hidromecanice care pot fi întâlnite la bordul navelor maritime sunt foarte asemănătoare ca realizare tehnică și practic identice ca exploatare.

Caracteristicile principale ale lochurilor hidromecanice și recomandările pentru exploatarea lor sunt următoarele:

– elicea este fragilă și expusă blocării cu mici corpuri plutitoare sau mici vietăți marine. În asemenea situații spada se trage în interior și se deblochează;

– spada cu elicea și mecanismul imers sunt expuse avarieii prin atingerea fundului sau lovirea unor corpuri plutitoare. Pentru prevenire, spada lochului se trage în interior la intrarea în porturi, pe râuri și canale, când se navigă în ape cu funduri mici, cu gheață sau alte corpuri în derivă etc.

– funcționează la viteze foarte reduse ale navei. Indică chiar viteza curentului pe timpul staționării navei la ancoră;

– eroarea determinată cu ocazia etalonării lochului poate fi eliminată prin reglare sau considerabil redusă;

– pot fi instalate pe nave de toate mărimile, inclusiv pe ambarcațiuni.

Întreținerea lochului la bord, precum și scoaterea și introducerea spadei se execută de către persoana care are instalația în primire, ofițerul electrician al navei. Punerea în funcțiune și oprirea lochului hidromecanic, deci și scoaterea și introducerea spadei se hotărăsc și se dispun de către ofițerul de cart.

§4 Lochul hidrodinamic (pitometer log, pressure-type log)

Lochul hidrodinamic se află în dotarea oricărei nave moderne; navele noastre maritime, cu câteva excepții doar, au în dotare acest tip de loch.

Lochurile hidrodinamice funcționează pe principiul diferenței dintre presiunea opusă de apă la deplasarea navei și presiunea normală existentă la adâncimea corespunzătoare fundului navei.

Considerăm două tuburi verticale deschise la ambele capete, instalate pe fundul navei (fig. 5-3); tubul *A*, denumit *tub de presiune statică*, cu capătul la nivelul tablelor fundului navei și tubul *B*, denumit *tub de presiune totală* sau tub *Pitot** , cu capătul inferior la o anumită adâncime sub chilă având deschiderea în sensul deplasării navei.

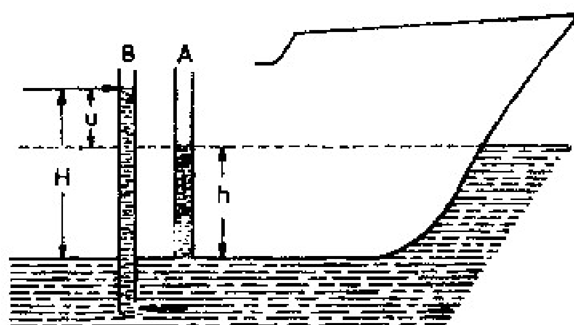


Fig. 5-3

* *Pitot* – fizician francez (1695 – 1771), formulează *„principiul tubului Pitot"*, aplicat la realizarea lochurilor hidrodinamice.

· Când nava este staționară, apa se ridică în ambele tuburi la nivelul suprafeței mării (principiul vaselor comunicante). În cazul când nava se deplasează, în tubul *A* apa se menține la același nivel (coloana *h*), iar în tubul *B* apa se ridică la un anumit nivel (coloana *H*), funcție de viteza navei.

Relația dintre înălțimea *H* a coloanei de apă din tubul de presiune totală (*B*) și viteza navei *V* este exprimată de *ecuația lui Bernoulli*:

$$H = \frac{p}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} \qquad (5\text{-}2)$$

unde: p = presiunea statică a apei la adâncimea fundului navei unde sunt instalate tuburile; γ = greutatea specifică a apei; g = accelerația gravitației.

Se observă că înălțimea *H* a coloanei de apă în tubul de presiune totală este egaală cu suma dintre înălțimea coloanei de presiune statică $\frac{p}{\gamma} = h$, care este constantă, și creșterea înălțimii coloanei datorită presiunii dinamice $\frac{V^2}{2\,g} = u$, de mărime variabilă.

Greutatea coloanelor de apă din cele două tuburi, respectiv presiunea lor se obține înmulțind relația (5-2) cu greutatea specifică a apei (γ):

$$H \cdot \gamma = p + \frac{V^2}{2g}\gamma \qquad (5\text{-}3)$$

în care considerăm:

$H\,\gamma = Pt$ = presiunea totală;

$p = Ps$ = presiunea statică;

$\frac{V^2}{2g} \cdot \gamma = Pd$ = presiunea dinamică. (5-4)

Relația (5-4) ***arată că presiunea dinamică opusă de apă la deplasarea navei este proporțională cu pătratul vitezei acesteia.***

Egalitatea (5-3) poate fi scrisă sub forma:

$Pt = Ps + Pd$, de unde:

$Pd = Pt - Ps$ (5-5)

Rezolvarea relației (5-5) se realizează cu ajutorul unei instalații hidrodinamice (fig. 5-4), care este formată în orincipal din: *tubul* (*Pitot*) de presiune *totală* (1) , *tubul de presiune statică* (2) și *transmițătorului presiunii dinamice* (3). Instalația se montează la bord sub linia de plutire a navei.

Transmițătorul presiunii dinamice (3) constă din două camere (4 și 5), separate etanș de o membană elastică (6). *În cameră de presiune totală* (4) sau *camera Pitot* se transmite presiunea totală (Pt), prin *tubul Pitot* (1); în *camera de presiune statică* (5) se transmite presiunea statică de la nivelul fundului navei, prin tubul (2). Cele

două presiuni (*Pt* și *Ps*) acționează pe cele două fețe ale membranei elastice (6) pe aceeași direcție, în sensuri opuse, astfel că tijei (7) – fixată de membrană i se transmite rezultanta lor, egală cu presiunea dinamică (*Pd*).

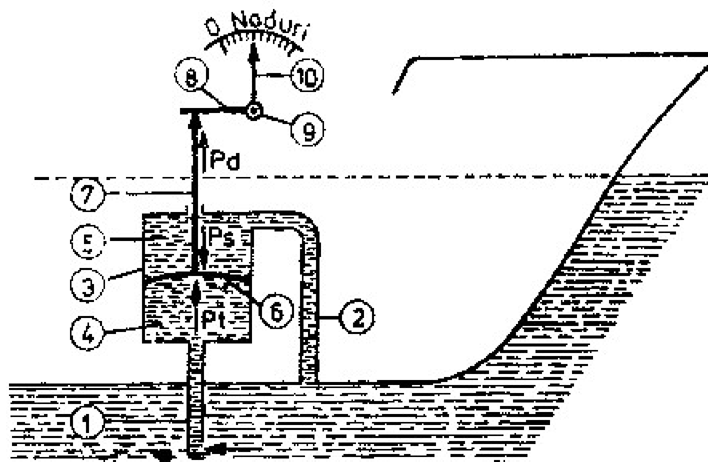


Fig. 5-4

Dispozitivul de presiune dinamică rezolvă deci relația (5-5), determinând presiunea dinamică din presiunea totală și presiunea statică. Tija (7) transmite presiunea dinamică rezultantă, la o pârghie (8), solidară cu indicatorul (10), care pivotează în jurul pivotului (9), permițând măsurarea presiunii dinamice.

·Cunoscând presiunea dinamică *Pd* , pe baza relației (5-4) se obține viteza navei; aceasta se realizează cu un mecanism care convertește presiunea dinamică în viteză în noduri, indicată pe un cadran cu diviziuni uniforme. Simultan, pe baza vitezei navei determinată continuu, un dispozitiv calculează distanța parcursă de navă, în mile marine, prin înmulțirea vitezei cu timpul.

Tipul de loch hidrodinamic cel mai răspândit la bordul navelor noastre maritime este lochul SAL (de fabricație suedeză); acesta este alimentat de la rețeaua bordului printr-un convertizor rotativ sau un transformator. Celelalte tipuri de lochuri hidrodinamice instalate la nave sunt foarte asemănătoare din punct de vedere constructiv, iar exploatarea este similară.

Proprietățile principale ale lochurilor hidrodinamice sunt următoarele:

– indicațiile de viteză și distanță parcursă sunt continue, și nu „în trepte", ca la lochurile mecanice cu transmisie electrică sau ca la cele hidromecanice (ca urmare a transmiterii distanței prin contacte electrice succesive). Această calitate le face apte pentru a fi conectate la instalațiile radar pentru reprezentarea în mișcarea reală (vezi cap. 30), ca și la instalațiile de ținere automată a estimei în navigație;

– funcționând pe principiul presiunii, lochul hidrodinamic nu are părți rotative imerse, astfel că este mai puțin expus incidentelor în exploatare. Dacă tubul Pitot se avariază, el poate fi ușor înlocuit. Pentru verificare, tubul Pitot se trage în interior; dacă este îndoit, înlocuirea se face presând tubul avariat în afară cu un tub nou. Operațiunea se poate efectua în mers; pentru ușurarea înlocuirii se recomandă reducerea vitezei navei sub 8 Nd;

– sistemul valvulei de fund pentru fixare în afara carenei a tubului Pitot nu necesită instalarea în dublu-fund a unui puț special construit, ca în cazul lochurilor hidromecanice;

– erorile constante în indicațiile lochului constatate după instalare, prin probele de etalonare, pot fi eliminate prin reglare sau considerabil reduse;

– transmițătorul presiunii dinamice se realizează din niște burdufuri sensibile, care le face apte pentru măsurarea vitezei până la 1 Nd. Vitezele sub 1 Nd se pot măsura numai cu lochuri hidrodinamice de construcție specială, folosite la lucrări hidrografice.

§5 Etalonarea lochurilor. Determinarea distanței parcurse

Cele trei tipuri de lochuri prezentate indică viteza navei și respectiv distanța parcursă „prin apă", deci în raport cu masa de apă prin care nava se mișcă și nu în raport cu fundul mării deasupra căruia se deplasează („viteza deasupra fundului"). Viteza prin apă indicată de loch este afectată de influența curentului din zona în care se navigă; modul în care se elimină influența curentului pentru a transforma *viteza prin apă* în *viteză deasupra fundului* se tratează la capitolul 8.

Indicațiile lochurilor, ca ale oricărui aparat de măsură, sunt afectate de anumite erori; în cele ce urmează vom prezenta modul în care se determină eroarea constanță a lochului și felul în care se corectează distanța sau viteza indicată de loch pentru a obține distanța parcursă sau viteza adevărată a navei prin apă.

Operațiunea de determinare a erorii lochului se numește *etalonarea lochului*. Lochurile hidromecanice și hidrodinamice, așa cum s-a arătat mai sus, permit reducerea acestei erori prin reglare sau chiar eliminarea ei.

Eroarea lochurilor are o anumită variație funcție de viteza navei, de aceea etalonarea trebuie efectuată pentru viteza cu care se navigă în mod normal.

Eroarea lochurilor are o variație în timp ca urmare a uzurii naturale a pieselor, eventuale deformații ale palelor elicii (la lochurile mecanice sau hidromecanice) etc.; de aceea, eroarea trebuie verificată periodic printr-o reetalonare.

Eroarea constantă conținută de indicațiile lochului se elimină sub forma unei corecții, care se poate exprima ca *factor de corecție* sau *corecție în procente*. La bordul navelor comerciale se practică sistemul de eliminare a erorii ca factor de corecție, fiind mai comod și la fel de precis.

Determinarea factorului de corecție al lochului. În ape fără curenți, operațiunea este simplă și se procedează în felul următor:

– în condiții de vreme bună, cu vânt până la forța 4 și marea calmă se parcurge o distanță între două puncte puncte precis determinate (cu aliniamente, prin sistemul *decca*, cu unghiuri orizontale etc.). Guvernarea navei se face cu atenție, menținându-se cât mai constant numărul de rotații ale mașinii;

– se face citirea distanței la loch în primul punct (cl_1) și în cel de al doilea punct (cl_2). Diferența celor două distanțe citite la loch dă distanța parcursă indicată de loch, denumită *distanța loch*(ml);

$$ml = cl_2 - cl_1 \qquad (5\text{-}6)$$

– se scoate din hartă *distanța adevărată* (m) dintre cele două puncte;

se calculează factorul de corecție (f) la precizie de 0.01 din raportul:

$$f = \frac{\text{distanță adevărată}}{\text{distanță loch}} = \frac{m}{ml} \qquad (5\text{-}7)$$

În navigație, distanța (adevărată) parcursă de navă, după indicațiile lochului astfel etalonat, se calculează din relația:

$$m = ml \times f \qquad (5\text{-}8)$$

distanța loch (ml) fiind calculată din diferența citirilor la loch în momentele care delimitează intervalul de timp (relația 5-6).

De asemenea, pentru a calcula distanța loch funcție de o anumită distanță adevărată, care urmează a fi parcursă, se folosește formula:

$$ml = \frac{m}{f} \qquad (5\text{-}9)$$

Această relație se aplică îndeosebi la schimbări de drum după indicațiile lochului.

Exemplu: *a* – Etalonarea lochului se execută între două puncte Z_1 și Z_2 precis determinate, situate la distanța de 6.3 Mm; în punctele respective se citesc la loch următoarele distanțe:

– în punctul Z_1 ... cl_1 = 55.40 Mm;

– în punctul Z_2 ... cl_2 = 61.40 Mm.

Factorul de corecție al lochului:

$$f = \frac{m}{cl_2 - cl_1} = \frac{6.30}{61.40 - 55.40} = 1.05$$

b – După lochul astfel etalonat se parcurge distanța loch de 22.1 Mm (obținută din diferența a două citiri consecutive la loch). Distanța parcursă de navă:

$$m = ml \times f = 22.1 \times 1.05 = 23.2 \text{ Mm}$$

Normele Registrului Naval Român prevăd eroarea maximă admisibilă a unui loch cuprinsă în limitele 0.95 – 1.05.

§6 Elicea navei ca loch. Determinarea vitezei navei după numărul de rotații ale elicei (Speed trial)

După construcție, în cadrul probelor de mare pentru recepția navei se procedează și la determinarea vitezei navei în funcție de numărul de rotații ale elicii; cu această ocazie se mai determină și o serie de alte elemente care interesează conducerea navei și exploatarea instalațiilor de la bord.

În cazul construcției unei serii de nave de același tip, cum se practică de către companiile de navigație, la navele maritime de transport care au variații considerabile de pescaj funcție de starea de încărcare, se recomandă ca probele pentru prototip să

se execute atât cu nava în balast, cât şi încărcată, plutind la marca de bord liber; pentru navele următoare din serie este suficientă executarea probelor cu nava în balast.

Probele de viteză se repetă după lucrările de reclasificare ale navei, la intervale de 4 ani.

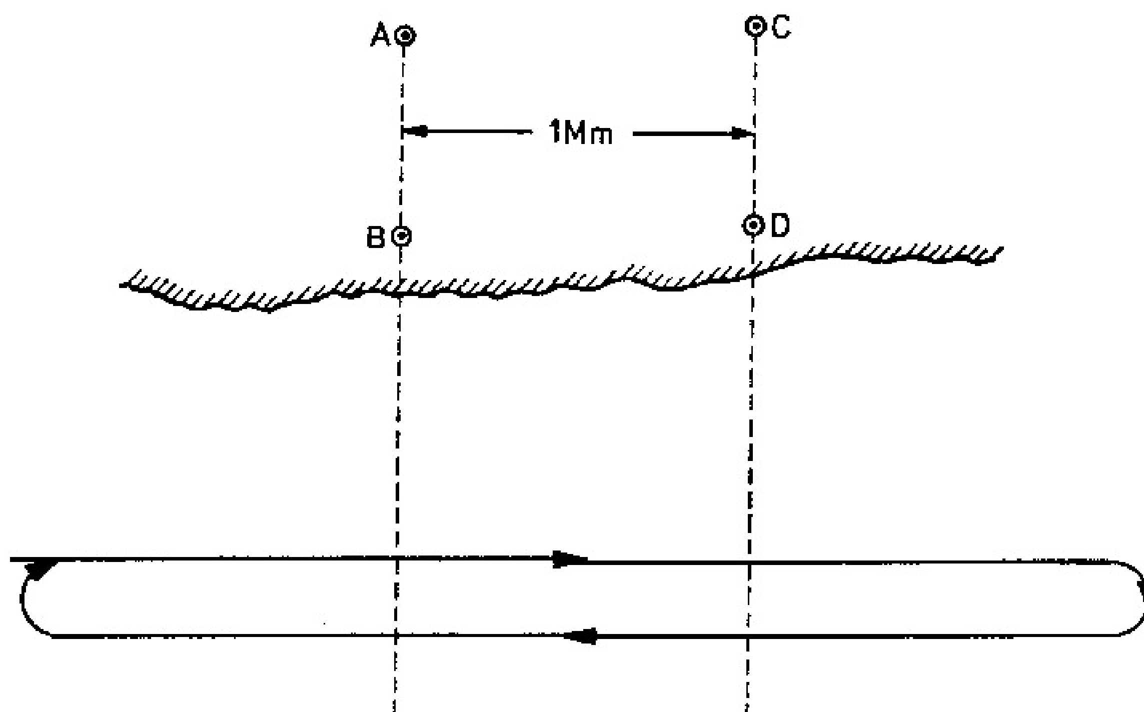


Fig. 5-5

Probele se execută la *baza de viteze cu "mile jalonate"*, care constă de regulă din două sau trei aliniamente paralele între ele, separate de distanţa de o milă marină şi orientate perpendicular pe coastă (fig. 5-5).

Bazele de viteză se amenajează în zone costiere pe cât posibil fără curenţi, adăpostite de valuri, cu adâncimi suficient de mari în imediata apropiere a coastei, fundul mării având un relief cât mai regulat; adâncimile minime necesare pentru probe se stabilesc funcţie de pescajul şi viteza navei, pe baza următoarei relaţii verificată experimental:

$$H = T + 1 \cdot 5\frac{V^2}{g}$$

unde: H = adâncimea minimă a apei în metri; T = pescajul navei în metri; V = viteza navei în m/sec; g = acceleraţia gravitaţiei în m/sec^2.

Bazele de viteze amenajate în sistemul de "mile jalonate" (*"measured miles"*) sunt reprezentate pe hărţile de navigaţie, iar descrierea lor, în cărţile pilot.

Probele de viteză se execută pe vreme bună, cu vânt nedepăşind forţa 4 şi starea mării corespunzătoare acestui vânt.

Cu maşina funcţionând la numărul de rotaţii stabilit pentru probă, care se menţine cât mai constant, se ia drum perpendicular pe aliniamentele bazei de viteze; pentru guvernarea navei se folosesc cei mai buni timonieri de la bord, cu indicaţia de

a se utiliza unghiuri minime de cârmă. La „tăierea" aliniamentelor bazei de viteze se măsoară timpul la precizie de 0.1 secunde. Momentul tăierii aliniamentelor se controlează de doi observatori cu ajutorul binoclului, care măsoară și timpul cu secundometrul; durata cursei, dacă apar mici diferențe, se stabilește din media criticilor. Viteza navei în noduri se calculează din relația:

$$V(Nd) = \frac{3600}{\text{timpul } (s)} \times \text{lungimea drumului de probe (Mm)}.$$

Lungimea drumului de probe (distanța între primul și ultimul aliniament) se alege astfel;

– 1 Mm pentru viteze până la 18 ND;

– 2 Mm pentru viteze cuprinse între 18-30 Nd.

Pentru stabilizarea numărului de rotații de probe și spre a se putea realiza viteza corespunzătoare, nava trebuie să intre în drumul de probe (perpendicular pe orientarea aliniamentelor), la o distanță suficient de mare de primul aliniament. Experimental s-a stabilit că nava trebuie să intre în drumul de probe la o distanță de primul aliniament astfel ca acest spațiu să se parcurgă în minimum 8 minute; rezultă de exemplu, că dacă viteza de probe este de 12 Nd = 2 cab/min, nava trebuie să intre în drumul de probe la distanța de cel puțin 1,6 Mm. Întoarcerile pentru luarea drumului de probe se execută cu unghiuri de cârmă de maximum 15°, pentru a se evita pierderile excesive de viteză.

Baza de viteze se parcurge de două ori, în drumuri opuse, iar viteza pentru numărul de rotații de probe se consideră egală cu media celor două viteze determinate:

$$V = \frac{V_1 + V_2}{2}$$

Prin acest procedeu se consideră că se elimină efectul curenților constanți, al vântului și al valurilor din zona de probe.

Când în zona de probe sunt curenți de maree și în general curenți variabili, baza de viteze se parcurge de trei ori, iar în cazul unor curenți puternici, de patru ori. Viteza medie corespunzătoare numărului de rotații de probe se calculează astfel:

$$V = \frac{V_1 + 2V_2 + V_3}{4}, \text{ în cazul a trei curse;}$$

$$V = \frac{V_1 + V_2 + V_3 + V_4}{4}, \text{ în cazul a patru curse.}$$

Deoarece probele se efectuează pentru diferite trepte de viteze ale navei, în mod progresiv, acestea mai sunt denumite și *probe progresive de viteză* (*"progressive speed trial"*). Cu ocazia efectuării curselor în baza de viteze se fac toate măsurătorile și determinările care prezintă interes pentru conducerea navei și exploatarea instalațiilor de la bord, între care menționăm :

– drumul de probe, după compasul giroscopic;

– ora începerii fiecărei curse (trecerea prin primul aliniament al bazei de viteze);

– durata fiecărei curse la precizie de 0.1 secunde pentru determinarea vitezelor;

– citirile la loch (lochuri), în scopul etalonării acestora;

– viteza vântului aparent măsurată cu anemometrul şi direcţia (ca *Rp* semicircular), la fiecare cursă;

– direcţia şi viteza curentului de maree, calculată după tablele de maree pentru zona respectivă, la fiecare cursă;

– adâncimea apei, măsurată cu sonda ultrason;

– la maşina principală: poziţia manetei de combustibil la numărul respectiv de turaţii, numărul de rotaţii/minut, puterea efectivă, presiunea şi temperatura uleiului şi a apei de răcire, presiunea şi temperatura uleiului şi a apei de răcire, presiunea şi temperatura gazelor de evacuaţie, puterea la ax (port elice);

– parametrii funcţionali principali ai grupurilor generatoare etc.

– toate aceste măsurători se trec în *foi de observaţii*, pregătite din timp, urmând să fie prelucrate după terminarea probelor.

Înainte de începerea probelor (recomandabil în bazinul şantierului) se stabilesc următoarele: pescajul prova, centru şi pupa, asieta navei, greutatea specifică a apei şi deplasamentul navei.

După efectuarea probelor se trasează curba de viteze în funcţie de numărul de rotaţii ale maşinii (fig. 5-6).

Pentru exemplificare, redăm mai jos condiţiile de executare şi rezultatele probelor progresive de viteză executate cu nava BUCEGI, în cadrul probelor de recepţie după terminarea construcţiei navei de către Şantierul *Hitachi-Zosen* din Inoshima (Japonia):

– nava BUCEGI (mineralier de 25 600 tdw);

– lungimea peste tot = 181.10 m;

– lungimea între perpendiculare – 172.00 m;

– lăţimea maximă = 24.80 m;

– pescaj prova = 8.73 m; pescaj pupa = 10.29 m; pescaj centru = 9.57 m;

– asieta = 1.56 m spre pupa;

– deplasament de probe = 32.480 tone;

– greutatea specifică a apei = 1.0225

– motorul principal *Hitachi – Burmeister & Wain*, puterea maximă continuă 11 500 CP la 119 rot/min;

– elice cu 4 pale, diametru = 5 900 mm;

– data probelor: 19 sept. 1966;

– locul: baza de viteze cu “mile jalonate” – insula YUGE;

– distanţa de probe = 1 Mm;

– cerul acoperit, marea calmă;

– mareea joasă în zona bazei de viteze din ziua de 19 sept. 1966, la ora 07.57; mareea înaltă la ora 14.13.

FOAIA DE

pentru probele progresive de

Sarcina mașinii	Nr. cursei	Drum adevărat	Ora începerii cursei	Durata cursei	Viteza (Nd).	Viteza medie (Nd).
1/2	1	233°	h – m 9 – 25	m – s 4 – 27.0	13.487	–
	2	53	9–53	4 – 21.4	13.776	–
	3	233	10–30	4 – 32.6	13.210	13.562
3/4	1	53	11 – 0	3 – 48.1	15.787	–
	2	233	11 – 31	4 – 01.8	14.892	–
	3	53	12 – 01	3 – 49.4	15.697	15.317
Puterea continuă de serviciu	1	233	12 – 32	3 – 49.5	15.691	–
	2	53	13 – 00	3 – 41.0	16.294	–
	3	233	13 – 33	3 – 47.1	15.856	16.034
Puterea nominală	1	53	14 – 00	3 – 36.2	16.656	–
	2	233	14 – 32	3 – 39.4	16.413	–
	3	53	15 – 04	3 – 40.0	16.368	–
	4	233	15 – 32	3 – 34.5	16.788	16.473

OBSERVAȚII

Tabelul (5-1)

viteză ale navei BUCEGI

Rot./min	Nr. mediu rot./min	Putere efectivă (C.P.)	Putere efectivă medie (C.P.)	Viteza loch SAL (Nd)	Viteza medie loch (Nd.)	Factor corecție loch	Vântul $\frac{Rp\ \frac{Td}{Bd}}{m/s}$
95.13	–	5110	–	13.508	–	–	$\frac{PvTd10^{\circ}}{8m/s}$
95.14	–	4940	–	13.333	–	–	$\frac{PvTd20}{8}$
95.30	95.18	5140	5030	13.418	13.398	1.012	$\frac{PvTd10}{10.5}$
109.14	–	7950	–	15.177	–	–	$\frac{PvBD5}{7.2}$
109.11	–	7720	–	15.293	–	–	$\frac{Pv}{12}$
109.09	109.11	7960	7840	15.280	15.261	1.004	$\frac{Pv}{5}$
114.62	–	9430	–	15.790	–	–	$\frac{Pv}{12}$
115.26	–	9580	–	16.050	–	–	$\frac{PvTd15}{6.5}$
116.01	115.29	9770	9590	16.158	16.014	1.001	$\frac{Pv}{12}$
119.16	–	10820	–	16.438	–	–	$\frac{Pv}{7.5}$
119.73	–	11000	–	16.559	–	–	$\frac{PvBd15}{13}$
119.51	–	11000	–	16.545	–	–	$\frac{Pv}{8}$
119.61	119.56	10960	10970	16.290	16.505	0.998	$\frac{Pv}{11}$

Rezultatele probelor sunt cele conținute de tabelul (5-1).

Se trasează apoi curba vitezelor alegându-se o scară grafică convenabilă a numărului de rotații, pe axa absciselor și a vitezei în noduri, pe axa ordonatelor (fig. 5-6).

Pentru ușurința folosirii în navigație, după această diagramă se întocmește o "tabelă de viteze funcție de numărul de rotații", conținând două coloane: viteza navei la precizie de 0.1 Nd și numărul de rotații corespunzător, care se afișează la comandă.

Așa cum s-a văzut în exemplul de mai sus, etalonarea lochului s-a făcut folosind indicația de viteză a navei; practic, la lochurile care redau atât distanța cât și viteza, se poate folosi oricare din cele două indicații.

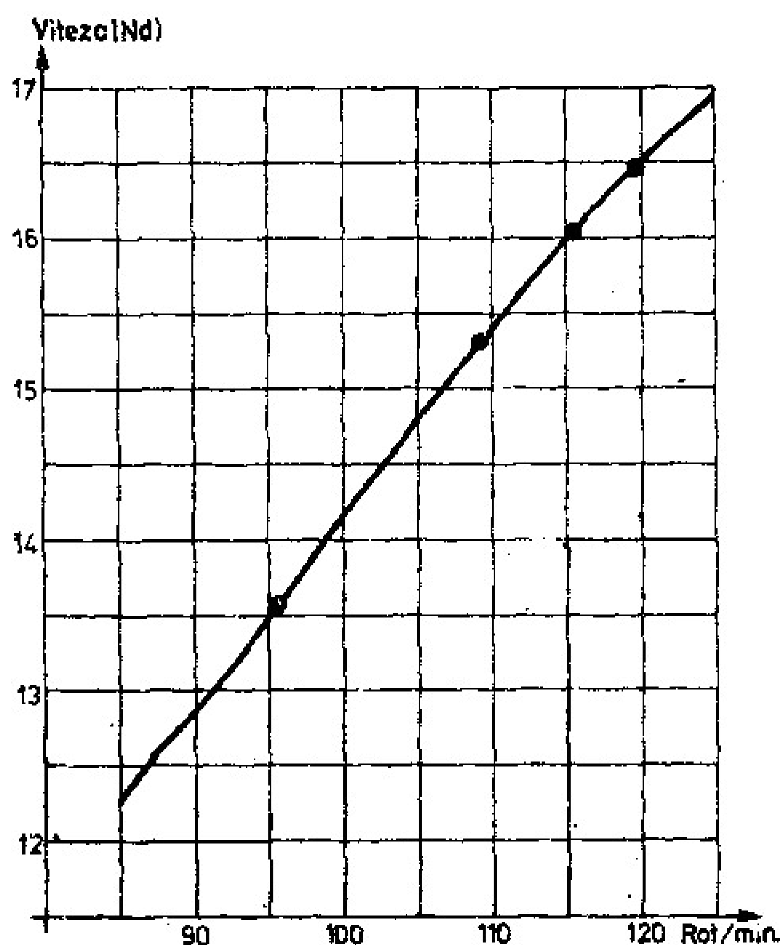


Fig. 5-6

În cazul folosirii vitezei navei, pentru determinarea factorului de corecție, deși variațiile de rotații ale elicii sunt practic neînsemnate, se recomandă ca viteza indicată de loch să fie citită la fiecare 15 secunde; în foaia de observații (tabelul 5-1), pentru fiecare cursă în parte se înscrie media vitezelor astfel citite la loch.

Observarea variației vitezei navei în exploatare. Pe timpul exploatării navei, indicațiile curbei (tabelei) de viteze în funcție de numărul de rotații ale elicii se verifică în diferite condiții de navigație, de fiecare dată când se oferă ocazia (treceri prin aliniamente, determinări precise ale poziției navei etc.), astfel ca să se poată trage cele mai juste concluzii privind influența diferiților factori. Factorii principali care influențează viteza navei sunt următorii:

– *pescajul navei*, determinat de starea de încărcare, în funcţie de care variază rezistenţa la înaintare. Modul de repartizare pe verticală a greutăţilor la bord condiţionează stabilitatea transversală a navei, cu influenţă asupra comportării navei pe valuri, deci şi asupra vitezei. Se va căuta realizarea întotdeauna a unei stabilităţi iniţiale favorabile; o stabilitate iniţială excesivă va cauza un *ruliu dur* pe mare agitată, având amplitudini mari şi o perioadă redusă, care pe lângă o serie de alte consecinţe negative va conduce şi la o reducere a vitezei navei;

– *asieta navei*, în funcţie de repartizarea longitudinală a greutăţilor la bord. o apupare de 1-2 picioare, funcţie de mărimea navei, este favorabilă;

– *vântul şi starea mării*. În general vântul până la forţa 4 are o influenţă neglijabilă asupra vitezei navei.

Valurile şi vântul din prova, de forţa 10 de exemplu, cauzează reducerea vitezei cu circa 30% la navele de mare tonaj cu viteză mare, circa 50% la cele de tonaj mijlociu şi circa 70-80% la navele mici. În plus, pentru a diminua pericolul avariilor la corp şi instalaţii în zona prova, ca urmare a "capacelor" şi a "loviturilor de fund" ale valurilor, precum şi pentru diminuarea tangajului – cu pericolul ieşirii din apă a elicii, se impune reducerea numărului de rotaţii le maşinii, până când nava are o comportare favorabilă.

Valurile şi vântul de forţa 10 de travers, determină o pierdere de viteză de cca 10% la navele mari cu viteză mare, cca 20% la navele de 8-10.000 TRB şi o viteză de serviciu în jur de 15 Nd; la navele de tonaj mijlociu şi mic, la care obişnuit ruliul este considerabil, pierderea de viteză este foarte mare şi asemenea nave de regulă nu pot să menţină o atare aliură faţă de vânt şi val;

– *depunerile pe carena navei*. După un an de la andocare, ca urmare a unor depuneri apreciabile pe carena navei (vopsea antivegetativă de calitate necorespunzătoare, nava a avut staţionări îndelungate – îndeosebi în zona ecuatorială sau tropicală etc.), pierderea de viteză poate să ajungă în proporţie de 15-20 %;

– *adâncimi mici în zona de navigaţie*. În asemenea situaţii guvernarea navei devine mai dificilă şi se lucrează cu unghiuri mai mari de cârmă, „valul vine după navă" ca urmare a modificării curenţilor de apă care se formează în jurul navei pe timpul deplasării, mărind rezistenţa la înaintare. La nave cu viteze de 15-20 Nd, pierderea de viteză poate fi de 10-15%.

Este de reţinut faptul că aceşti factori acţionează în mod diferit asupra diverselor tipuri de nave, de aceea comandantul şi ofiţerii de la bord trebuie să-şi studieze cu atenţie nava, pentru a stabili modul în care factorii enunţaţi influenţează asupra vitezei.

§7 Metoda lochului improvizat (Dutchman's log)

Determinarea vitezei navei prin *metoda lochului improvizat* („lochul olandezului") constă în principiu din măsurarea timpului t necesar pentru ca nava să parcurgă o anumită distanţă s, delimitată de două semne marcate pe copastie; viteza navei V se obţine din relaţia:

$$V = \frac{s}{t}.$$

Practic, se procedează astfel:

– se măsoară o distanţă cât mai mare de-a lungul navei în ambele borduri, exprimată în metri ssau în unităţi egale cu 0.514 *m* (= spaţiul parcurs în timp de o secundă de o navă care merge cu viteza de 1 Mm/h) şi delimitată prin două semne vizibile pe copastie. Distanţa trebuie determinată cât mai precis, după planurile navei;

– se aruncă o bucată de lemn spre prova în bordul de sub vât şi se măsoară timpul în secunde între momentele când bucata de lemn se vede la traversul celor două semne. În acest scop se plasează câte un observator în dreptul fiecărui semn.

Viteza navei, în noduri, se obţine din relaţia:

$$V = \frac{\text{distanţa în metri}}{0.514 \times \text{timpul în secunde}}$$

sau

$$V = \frac{\text{distanţa în unităţi de } 0{,}514 \text{ m}}{\text{timpul în secunde}}$$

Pentru a uşura aplicarea acestei metode se întocmeşte o tabelă, în care se intră cu timpul în secunde şi se obţine viteza navei în noduri.

Metoda se foloseşte cu rezultate satisfăcătoare pe vreme rea, la navigaţia în zone cu gheţuri în derivă şi la viteze reduse, când lochurile din dotarea navei navei nu pot fi folosite. De asemenea, se utilizează la determinarea vitezei curentului când nava staţionează la ancoră; în acest caz, bucata de lemn se aruncă spre prova navei şi se contează timpul necesar ca aceasta să fie derivată în drepul celor două semne.

§8 Lochul ultrason Doppler (Doppler sonar speed log)

Ultrasunetele au fost folosite în navigaţie pentru măsurarea adâncimii apei, aplicate la realizarea *sondelor ultrason*. Recent s-au realizat mijloace de navigaţie care utilizează ultrasunetele pentru măsurarea vitezei navei, denumite *lochuri ultrason Doppler*; detalii asupra proprietăţilor ultrasunetelor, a propagării lor prin apa de mare, a emiterii şi recepţiei la bord se dau în capitolul 6, §4.

Lochul ultrason Doppler îşi bazează funcţionarea pe proprietăţile propagării ultrasunetelor în apa de mare şi pe efectul Doppler: dacă un fascicul de impulsuri de ultrasunete emis de la navă orizontal spre prova este reflectat de un obstacol fix întâlnit în cale, ecoul recepţionat la bord are o frecvenţă diferită de cea de emisie; diferenţa dintre frecvenţa de emisie a impulsurilor de ultrasunete şi cea de recepţie este proporţională cu spaţiul parcurs de navă în intervalul de timp dintre momentul emisiei şi recepţiei impulsurilor, care este funcţie de viteza navei.

Considerăm că sursa de emisie a ultrasunetelor *S* şi receptorul *R*, instalate sub linia de plutire a unei nave se deplasează cu viteza navei *V* spre un obiect fix, care

joacă rolul de reflector (fig. 5-7); fasciculul de impulsuri de ultrasunete emis din S este reflectat de obiect și recepționat în R. dacă viteza de propagare a ultrasunetelor prin apă este v, frecvența de recpție f' se află în următoarea relație cu frecvența de emisie f a impulsurilor de ultrasunete:

$$f' = f\frac{(v+V)}{(v-V)} = f\frac{\left(1+\frac{V}{v}\right)}{\left(1-\frac{V}{v}\right)}$$

sau:

$$f' = f\left(1+\frac{2V}{v}+\frac{2V^2}{v^2}+\frac{2V^3}{v^3}+\ldots\right).$$

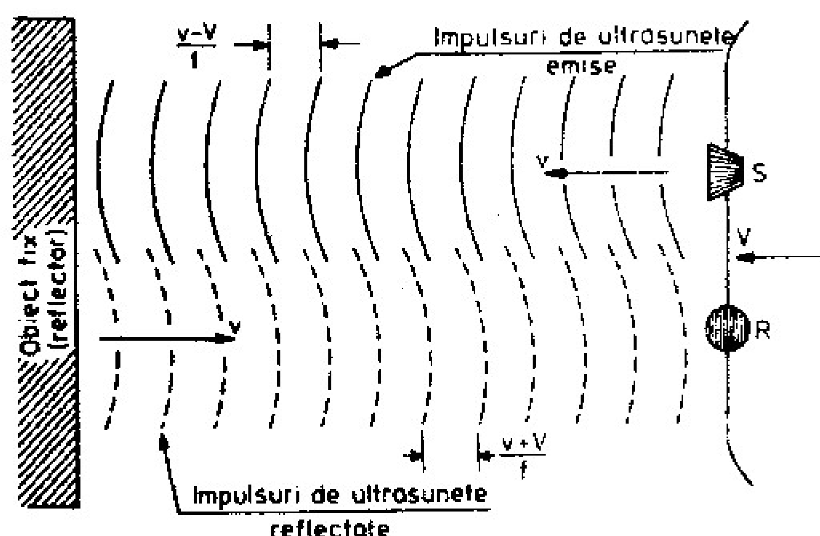


Fig. 5-7

Viteza medie de propagare v a ultrasunetelor în apa de mare la temperatura de 13°c este de 1 500 m/s. Viteza navei V cu care se deplasează emițătorul și receptorul de ultrasunete este apreciabil mai mică; la navele maritime comerciale putem considera viteza medie de 15 Nd ≈ 7,5 m/s. În acest caz, în care V are o mărime neînsemnată în raport cu v, diferența Δf dintre frecvența de emisie și cea de recepție a impulsurilor de ultrasunete (*frecvența Doppler*) se află în următoarea relație cu viteza navei (viteza de deplasare a emițătorului și receptorului de ultrasunete):

$$\Delta f = \frac{2V}{v}f \qquad (5\text{-}13)$$

Pentru măsurarea vitezei în navigație folosind efectul Doppler, nu se găsesc asemenea obiecte fixe în prova navei, capabile să reflecte ultrasunetele.

De aceea, fasciculul de ultrasunete este dirijat în jos pe direcția $S(R) - F$, de un unghi θ față de orizontală și reflexia este realizată pe fundul mării în F (fig. 5-8 *a*); la

lungimea de undă foarte mică a ultrasunetelor, particulele cele mai fine ale fundului mării sunt capabile să cauzeze dispersia acestora, astfel că o parte a energiei reflectate este recepţionată la bord. Componenta vitezei navei de-a lungul fasciculului de ultrasunete fiind $V \cos\theta$, relaţia dintre *frecvenţa Doppler* şi viteza navei devine:

$$\Delta f = \frac{2V\cos\theta}{v} f$$

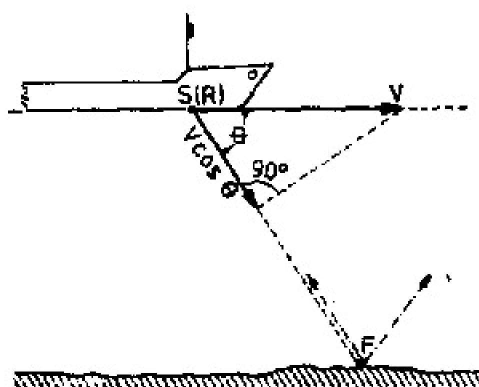


Fig. 5-8a

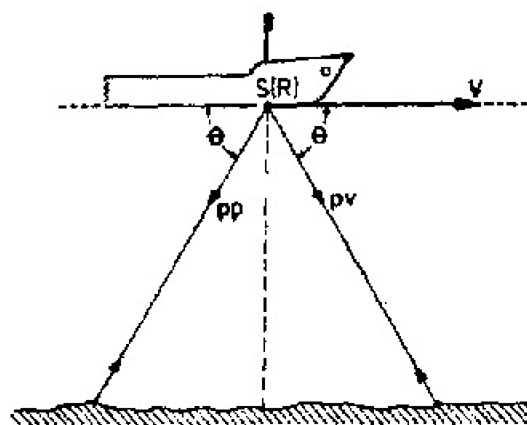


Fig. 5-8b

Precizia determinării vitezei navei prin sistemul care are la bază relaţia (5-14) este afectată de componenta verticală a mişcării navei, generată îndeosebi sub acţiunea valurilor. Acest neajuns este eliminat prin folosirea unui sistem de vibratoare de emisie – recepţie în *configuraţie Ianuş** (fig. 5-8b): un fascicul de ultrasunete este dirijat spre prova şi un altul spre pupa, ambele formând acelaşi unghi θ faţă de orizontală. Impulsurile de ultrasunete se emit simultan, cu aceeaşi frecvenţă f. Frecvenţa de recepţie a fasciculului de impulsuri de ultrasunete prova f'_{pv} este exprimată de relaţia:

$$f'_{pv} = f\left(1 + \frac{2V\cos\theta}{v} + \frac{2V^2\cos^2\theta}{v^2} + \dots\right)$$, iar a fasciculului pupa (f'_{pp})

$$f'_{pp} = f\left(1 - \frac{2V\cos\theta}{v} + \frac{2V^2\cos^2\theta}{v^2} - \dots\right)$$

Deci diferenţa dintre frecvenţa de emisie şi cea de recepţie în *configuraţie Ianus* devine:

$$\Delta f_{Ianus} = f'_{pv} - f'_{pp} = f\left(\frac{4V\cos\theta}{v} + 0 + \dots\right)$$, de unde:

$$\Delta f_{Ianus} = \frac{4V\cos\theta}{v} f \qquad (5\text{-}15)$$

* *Ianus*, zeu al mitologiei romane, care veghea asupra porţilor, uşilor, răscrucilor de drumuri importante; era reprezentat cu un cap având două feţe ce priveau în direcţii opuse.

Acesta este sistemul și relația care stă la baza determinării vitezei navei cu lochul ultrason Doppler. În măsura în care se pot obține ecouri de pe fundul mării, funcție de adâncimea apei, sistemul oferă posibilitatea determinării *vitezei deasupra fundului* (viteza în raport cu fundul mării deasupra căruia nava se deplasează), prezentând un avantaj considerabil față de lochurile mecanice, hidromecanice și hidrodinamice, care indica *viteza prin apă.*

Puterea de penetrare a ultrasunetelor în apa de mare este însă limitată, de aceea sistemul de indicare a vitezei în raport cu fundul mării este realizabil numai la adâncimi relativ reduse (până la 150 m pentru tipurile obișnuite de locuri ultrason Doppler folosite la navele maritime comerciale și 450 m în cazul unor comenzi speciale). La adâncimi superioare acestora, funcționarea lochurilor ultrason Doppler este asigurată prin reflexia impulsurilor de ultrasunete de către "reflectoarele" (particule în suspensie sau viețăți marine) întâlnite în cale pe direcția de propagare în apa de mare, la adâncimi care nu depășesc 15 m sub chila navei. În această situație însă, când elementul de referință pentru măsurarea vitezei navei nu mai este fundul mării, ci masa de apă la nivelul straturilor de reflexie a ultrasunetelor, sistemul elimină doar efectul curenților de suprafață, dar nu și pe acela al curenților de sub adâncimea acestor straturi.

Instalațiile folosite la bordul navelor indică automat, printr-un semnal luminos, când suprafața de reflexie este fundul mării, situație în care viteza măsurată este cea deasupra fundului.

Vibratorul de emisie-recepție se montează pe fundul navei într-o valvulă specială la nivelul tablelor carenei, care permite intervenții pentru reparații sau înlocuirea acestuia cu nava în stare de plutire.

Montarea vibratorului la nivelul tablelor de fund oferă avantajul față de lochurile hidromecanice și hidrodinamice de a nu prezenta părți exterioare cocii navei expuse avarierii, așa cum s-a arătat. Locul în care se montează vibratorul de emisie-recepție pe fundul navei nu influențează în mod sensibil precizia indicațiilor de viteză.

Determinarea vitezei navei se realizează cu o mare acuratețe, diferența de frecvență a impulsurilor de ultrasunete fiind măsurabilă la o precizie de ordinul a câtiva cicli pe secundă; există tipuri de lochuri ultrason Doppler care asigură o precizie de ± 0,25% m din viteza navei. În general, aproximația indicațiilor de viteză nu depășește 1%; erorile care apar sunt generate în principal de variația vitezei ultrasunetelor în apa de mare datorită îndeosebi variației temperaturii, de efectul ruliului, tangajului, precum și de schimbările bruște de drum.

Lochul ultrason Doppler pentru manevra navei (*"Doppler sonar docking sistem"*). Pe baza aceluiași principiu s-au realizat lochuri speciale, folosite pentru conducerea navelor de mare tonaj pe canale și râuri, precum și la manevrele de acostare, ancorare și andocare.

Sistemul indică cu mare precizie atât viteza navei înainte și înapoi, cât și viteza laterală a provei și pupei, în raport cu obiectele fixe din zona de manevră; spre deosebire de lochul ultrason Doppler obișnuit folosit pentru determinarea vitezei navei, această instalație nu lucrează prin impulsuri de ultrasunete, ci prin emiterea continuă de ultrasunete, fapt care ridică considerabil nivelul preciziei indicațiilor la viteze mici ale navei.

Lochul ultrason pentru manevra navei se realizează prin montarea a două de vibratoare de emisie-recepţie la prova şi pupa, în *configuraţie Ianus* (câte două elemente acţionând în sensuri opuse, în plan diametral şi transversal); instalaţia are *trei indicatoare de viteză* (în noduri, la precizie de 0.01) şi *de sens* (arătat printr-o săgeată luminoasă). Indicatoarele sunt de genul prezentat în figura (5-9): *indicatorul prova,* care arată viteza laterală a provei navei (de exemplu, 1.12 Nd înainte); *indicatorul pupa,* viteza laterală a pupei (de exemplu, 0.02 Nd spre babord).

Aceste lochuri aduc servicii deosebit de preţioase pentru siguranţa navigaţiei navelor de mare tonaj pe canale şi râuri, precum şi la manevrele în porturi şi rade.

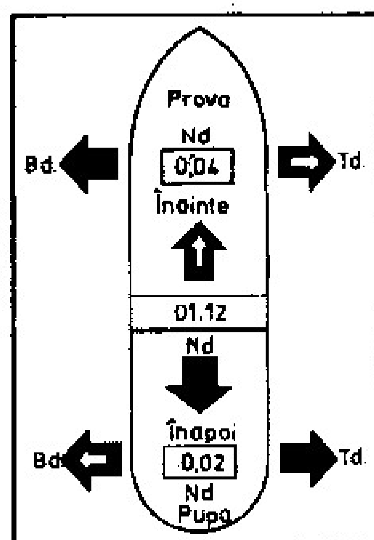


Fig. 5-9

§9 Sistemul electronic MARSMEC pentru determinarea vitezei navei

1 Necesitatea sistemului

Sistemul milelor "jalonate" pentru determinarea vitezei navei, descris la §6, prezintă o serie de neajunsuri la efectuarea probelor de viteză la navele de mare tonaj; între acestea menţionăm:

– probele se execută în imediata apropiere a coastei, fapt impus de necesitatea observării aliniamentelor şi asigurării unei *sensibilităţi* satisfăcătoare a acestora (vezi cap. 10, §3, pct. 4). În aceste condiţii este dificil să se asigure o adâncime suficientă a apei, factor important pentru precizia probelor la navele mari;

– probele nu se pot efectua în condiţii de vizibilitate redusă şi pe timpul nopţii, fapt care poate cauza prelungirea considerabilă a duratei lor, cu efect negativ economic (consum combustibil, întârzierea livrării navei, etc);

– înainte de începerea probei (trecerea prin primul aliniament), nu se asigură posibilitatea verificării dacă nava are o viteză constantă, corespunzătoare numărului de rotaţii ale elicii, ceea ce poate afecta precizia determinării vitezei, precum şi a celorlalţi parametri (puterea maşinii principale, consum specific etc.);

– precizia probei poate fi afectată prin erori de observaţie.

Dezvoltarea industriei construcţiilor navale şi îndeosebi creşterea considerabilă a tonajului noilor nave au impus găsirea unui sistem modern pentru efectuarea probelor de viteză, capabil să elimine dezavantajele sistemului clasic al "milelor jalonate". Un asemenea sistem a fost relizat în ultima perioadă în Japonia, denumit MARSMEC, aplicat în prezent şi în alte ţări; este un sistem electronic a cărui denumire derivă din însumarea abreviaţiunilor expresiei „*MA*Rine *S*peed *ME*asuring *C*ounter".

Probele de viteză ale tancurilor petroliere DACIA, MUNTENIA, CRIŞANA şi BANAT, construite în Şantierul Naval din Aioi (Japonia), au fost efectuate prin aplicarea sistemului MARSMEC, cu foarte bune rezultate.

2 Principiul sistemului electronic MARSMEC

Sistemul MARSMEC constă din două staţii radio: *o staţie principală* (*master station*) de emisie-recepţie, instalată pe timpul probelor la bordul navei, prevăzută cu o antenă parabolică orientabilă care se montează pe puntea de comandă a navei sau pe puntea etalon; *o staţie secundară* (*slave station*), care este mobilă şi se instalează pe timpul probelor într-un loc favorabil la uscat (insulă, cap etc.). Drumul de probă al navei poate fi oricare în jurul staţiei secundare, selecţionarea drumului făcându-se funcţie de adâncimea apei, condiţiile hidrometeorologice, traficul din zonă etc.

Nava care execută probele de viteză ia drum de apropiere cu prova pe staţie sau de depărtare, cu pupa pe staţie (fig. 5-10).

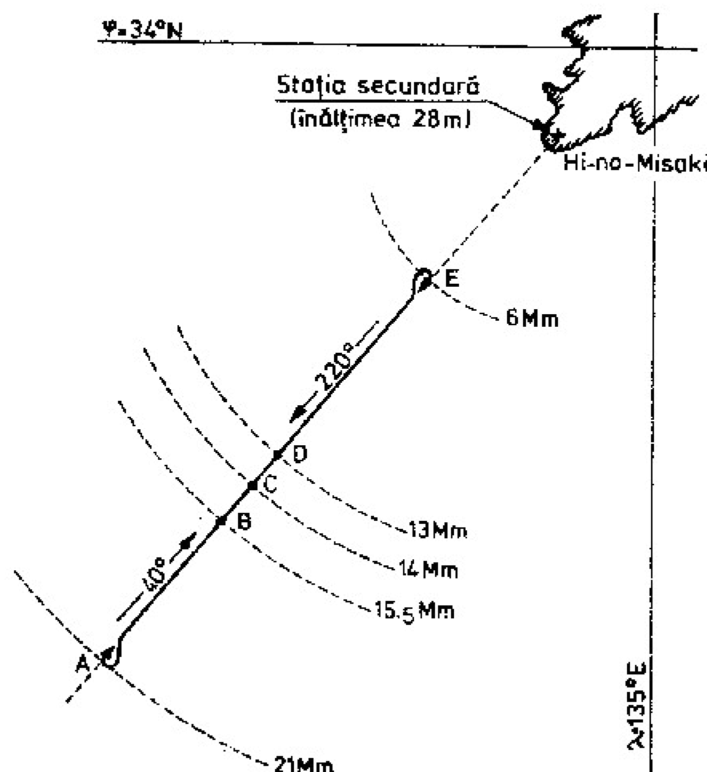


Fig. 5-10

Staţia principală, instalată la bordul navei, transmite o undă purtătorae radio în banda de 3000 MHz, modulată în frecvenţă cu aproximativ 7.5 MHz, în direcţia staţiei secundare de la uscat, care o reflectă înapoi spre staţia principală.

Când unda purtătoare radio, modulată cu o frecvenţă f_0, se deplasează între staţia principală – staţia secundară – staţia principală, ia naştere o diferenţă de fază $\Delta\Phi$ între faza undei transmise proprie frecvenţei f_0 şi faza undei recepţionate corespunzătoare aceleiaşi frecvenţe, exprimată de relaţia:

$$\Delta\Phi = \frac{4\pi f_0 d}{c} + \delta = \frac{4\pi}{\lambda_0} d + \delta \qquad (5\text{-}16)$$

unde:

– d = distanţa dintre staţia principală (*navă*) şi staţia secundară;

– c = viteza de propagare a undelor radio;

– δ = deviaţia de fază cauzată în interiorul staţiilor de efectele de reflexie în propagarea undei radio etc...

– λ_0 = lungimea de undă.

Din relaţia (5-16) se deduce:

$$d = \frac{\lambda_0}{2} \cdot \frac{1}{2\pi}(\Delta\Phi - \delta) \qquad (5\text{-}17)$$

expresie care arată că pentru o anumită lungime de undă, distanţa la un moment dat între staţia principală (navă) şi staţia secundară se obţine prin măsurarea diferenţei de fază.

Determinarea vitezei prin sistemul MARSMEC se bazează pe măsurarea spaţiului parcurs de navă şi a timpului necesar parcurgerii acestei distanţe.

Presupunem că momentul t_1 corespunde distanţei d_1 dintre staţii şi unei diferenţe de fază $\Delta\Phi_1$, iar într-un moment următor t_2 distanţa este d_2 şi diferenţa de fază $\Delta\Phi_2$; în acest caz viteza navei V este:

$$V = \frac{d_1 - d_2}{t_1 - t_2} = \frac{\lambda_0}{2} \cdot \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{(\Delta\Phi_1 - \Delta\Phi_2)}{t_1 - t_2} \qquad (5\text{-}18)$$

expresie care arată că viteza navei se poate determina prin măsurarea diferenţei diferenţelor de fază $\Delta\Phi_1 - \Delta\Phi_2$ şi a intervalului de timp $t_1 - t_2$.

Considerând lungimea de undă λ_0 = 20 m (corespunzătoare frecvenţei f_0 = 7.5 MHz), se deduce că la spaţii parcurse de navă egale cu 20 metri, diferenţa de fază este $2\pi = 360°$. Prin emiterea unui impuls la fiecare 1°. 8 diferenţă de fază şi măsurarea numărului de impulsuri transmise, spaţiul parcurs de navă poate fi determinat cu prcizie de 10 centimetri, deoarece:

$$20 \text{ metri} \times \frac{1.8°}{360°} = 0.1 \text{ metri.}$$

Sistemul MARSMEC îşi bazează funcţionarea pe emiterea acestor impulsuri şi măsurarea intervalelor de timp la precizie de 0.01 secunde, cu ajutorul unui osciloscop; sistemul este capabil să realizeze deci următoarele performanţe:

– *măsurarea spaţiului linear* parcurs de navă într-un anumit interval de timp, la precizie de 0.1 m;

– măsurarea intervalului de timp necesar parcurgerii unui anumit *spaţiu linear*, la precizie de 0.01 secunde;

– viteza medie în m/s într-un anumit interval de timp.

– rezultatele măsurătorilor sunt afișate digital, pe panoul receptorului stației principale; de asemenea, ele pot fi înregistrate simultan printr-un oscilograf conectat la receptor.

Prin expresia *spațiu linear*, folosită mai sus, trebuie înțeles spațiul de apropiere sau de depărtare pe direcția navă-stație secundară și nu distanța reală parcursă de navă, în cazul în care drumul navei are abateri de la această direcție (vezi punctul 4 de mai jos).

3 Aplicarea sistemului MARSMEC pentru efectuarea probelor de viteză

În cele ce urmează ne vom referi la instalația „MARSMEC-2", utilizată la efectuarea probelor de viteză la nava DACIA; aceasta realizează următorii parametri:

– spațiul linear de deplasare a navei la precizie de 0.1 m pentru intervalele de timp de: 10, 60, 100, 120, și 180 secunde;

– timpul în secunde (la precizie de 0.01 secunde) pentru parcurgerea spațiului linear de: 500, 1000, 1852, 1853.2, 2000 și 3704 metri; 1853.2 m reprezintă lungimea milei marine folosită în Japonia, iar 3704 m = 2 x 1852 m = 2 Mm;

– spațiul parcurs în timp de 10 secunde.

Stația secundară se instalează la uscat într-o poziție aleasă astfel ca să se asigure condiții bune pentru efectuarea probelor: adâncimi mari, condiții hidrometeorologice favorabile, drumul de probe să poată fi selecționat într-un sector cât mai mare etc. Altitudinea cea mai avantajoasă a antenei stației secundare este de 25.7-29 metri, situație în care proba se poate efectua până la distanța de 20 Mm de această stație.

Stația secundară are o antenă parabolică reflectoare, care se orientează cu precizie pe direcția drumului de probe stabilit.

Stația principală se instalează la bordul navei, înainte de ieșirea în probele de mare. Antena parabolică de emisie-recepție, montată pe un trepied, se fixează pe puntea de comandă, într-un bord; ea se orientează în $Rp = 0°$ când nava execută drumul de probe cu prova pe stația secundară, respectiv în $Rp = 180°$, în drumul de probe cu pupa pe stație.

Pe timpul probelor, legătura dintre navă și stația secundară se asigură prin radiotelefon.

Pentru ilustrarea modului de lucru se redau succint măsurile întreprinse pentru efectuarea probelor de viteză la tancul DACIA, în golful Wakayama, în ziua de 24 martie 1974. Deplasamentul navei pe timpul probelor 102708 tone, pescajul prova 13.50 m, pescajul pupa 13.45 m.

Stația secundară a fost instalată pe capul Hi-no-Misaki, lângă farul cu același nume (fig. 5-10); amplasarea lângă far s-a dovedit utilă îndeosebi când probele s-au desfășurat pe timpul nopții. Antena stației secundare a fost orientată pe direcția drumului de probe stabilit, 220° – 40°.

Proba de viteză la puterea nominală a mașinii principale, de exemplu, s-a executat astfel (fig. 5-10):

– la ora 19.55 (poziția *A*) nava a luat $Da = 40°$ cu prova pe stația secundară, la distanța de cca 21 Mm de aceasta. Mașina principală s-a reglat la 124.0 rot/min,

corespunzătoare puterii nominale, care s-a menţinut constantă. Antena parabolică a staţiei principale s-a orientat în $Rp = 0°$;

– s-a reglat staţia principală a instalaţiei „MARSMEC-2" pentru măsurarea spaţiului parcurs în timp de 10 secunde, în scopul de a se stabili momentul când nava merge cu o viteză constantă. După parcurgerea unei distanţe de cca 5.5 Mm, în drumul de probă, spaţiul parcurs de navă în timp de 10 secunde a început să se menţină constant, de 77.9 m (poziţia *B*);

– s-a continuat navigaţia în drumul de probă pe o distanţă de încă 1.5 Mm, pentru a se verifica menţinerea constantă a vitezei;

– după ce nava a parcurs în total 7 Mm pe drumul de probă, la 14 Mm de staţia secundară (poziţia *C*), adâncimea apei 211 m, la un semnal transmis la toate posturile de la bord unde se făceau observaţii şi măsurători, staţia principală s-a comutat pe *distanţa de probă de 1852 m*. Din acest moment pe panoul cu indicatoarele numerice (de distanţă şi timp) ale receptorului se afişează distanţa parcursă de la 0-1852 m, la precizie de 0.1 m şi timpul corespunzător, la precizie de 0.01 s.

Când indicatorul de distanţă a arătat 1852.0 m (poziţia *D*), cel de timp a indicat 237.70 secunde; ambele indicatoare s-au oprit la afişarea acestor mărimi.

Se intră în tabela cu viteza în funcţie de timp, calculată pentru distanţa de probe (de 1852 m) şi se obţine viteza navei (15.15 Nd).

Pe timpul parcurgerii distanţei de probă, la comandă şi în compartimentul maşini, se efectuează obsrvaţiile şi măsurătorile stabilite în *programul probelor de mare*, aşa cum s-a arătat mai sus la §6;

– după parcurgerea distanţei de probă, nava şi-a continuat drumul cu prova pe staţia secundară ($Da = 40°$). Când a ajuns la circa 6 Mm de staţia secundară, s-a executat *curba lui Butakov** pentru a se întoarce în drumul opus de probă $Da = 220°$ (poziţia *E*). Antena parabolică a staţiei principale se orientează în $Rp = 180°$, pentru proba cu pupa pe staţie;

– proba la acelaşi număr de rotaţii a maşinii principale se repetă în $Da = 220°$. Distanţa de probă de 1852 m s-a parcurs în 207.70 secunde, viteza 17.33 Nd; viteza medie 16.24 Nd la 124.0 rot/min.

Distanţa de probă de 1852 m se foloseşte până la viteze de 18 Nd; la viteze superioare, distanţa de probă la folosirea sistemului „MARSMEC-2" este de 3704 m.

4 Precizia sistemului MARSMEC

Precizia determinării vitezei navei cu sistemul electronic MARSMEC este funcţie de:

– erorile proprii sistemului, care se produc în staţia principală şi secundară, precum şi în propagarea undelor. Experienţele efectuate au arătat însă că în limitele temperaturilor de –10°C şi +50°C aceste erori sunt neglijabile;

– eroarea cauzată de abaterea de la drumul de probă al navei. Această eroare în determinarea vitezei navei creşte cu mărimea abaterii.

Eroarea cauzată de abaterea de la drumul de probă. Din cele relatate mai sus rezultă că sistemul MARSMEC este conceput a determina viteza radială, respectiv spaţiul linear în raport cu staţia secundară, considerând că nava se deplasează pe un

drum de probă cu prova sau pupa pe această stație, pe direcția în care este orientată antena parabolică relectoare de la uscat. În cazul abaterii navei de la drumul de probă datorită guvernării ei eronate sau ca efect al unor factori externi (vânt, valuri, curent), *distanța parcursă de navă* într-un anumit interval de timp este mai mare decât *spațiul linear* corespunzător, măsurat prin sistemul MARSMEC; viteza măsurată cu acest sistem este mai mică deci în cazul existenței unei asemenea abateri, decât viteza reală a navei.

Pentru a ilustra eroarea în determinarea vitezei navei, ca efect al unei abateri de la drumul de probă, considerăm stația secundară în punctul R și nava în poziția inițială A (fig. 5-11). Drumul de probă în acest caz este D, determinat unghiul de NAR; presupunem însă că după un interval scurt de timp nava se află în B, datorită unei abateri $\theta = D - D'$. Triunghiul ABR este determinat de următoarele elemente:

$AR = p$ = distanța inițială de la navă la stația secundară;

$AB = m$ = distanța parcursă de navă într-un anumit interval de timp.

Ducând un arc de cerc cu centrul în A și raza m se obține intersecția M;

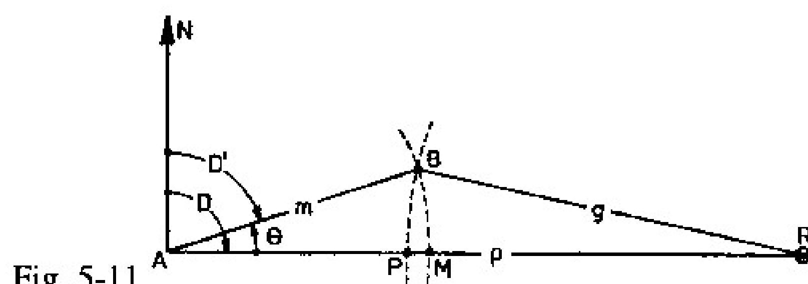


Fig. 5-11

$BR = g$ = distanța dintre stația secundară și navă, după parcurgerea distanței m. Arcul de cerc cu centrul în R și raza g determină intersecția P;

$\theta = D - D'$ = abaterea de la drumul de probă.

Când nava se află în punctul B, sistemul MARSMEC indică distanța parcursă $(p - g)$ = AP, iar diferența:

$$AM - AP = PM = \Delta m = m - (p - g) \qquad (5\text{-}19)$$

generează eroarea în distanța măsurată datorită abaterii θ.

În triunghiul ABR:

$$g^2 = p^2 + m^2 - 2pm \cos\theta \qquad (5\text{-}20)$$

Din expresiile (5-19) și (5-20) se poate scrie:

$$\left(\frac{\Delta m}{m}\right)^2 + 2\frac{\Delta m}{m}\left(\frac{p}{m} - 1\right) - 2\frac{p}{m}(1 - \cos\theta) = 0$$

Considerând $\left(\frac{\Delta m}{m}\right)^2 \ll 1$ se obține:

$$\left|\frac{\Delta m}{m}\right| = \left|\frac{1 - \cos\theta}{1 - \frac{m}{p}}\right|$$

Practic însă $p \gg m$ și deci se poate admite că:

$$\left|\frac{\Delta m}{m}\right| = |1 - \cos\theta| \tag{5-21}$$

Dând abaterii θ valori de 1°, 2°, ..., 5°:

$$\theta = 1° \ldots \left|\frac{\Delta m}{m}\right| = 1 - 0.99985 = 0.00015 = 0.015\%$$

$$\theta = 2° \ldots \left|\frac{\Delta m}{m}\right| = 1 - 0.99939 = 0.00061 = 0.061\%$$

....

$$\theta = 5° \ldots \left|\frac{\Delta m}{m}\right| = 1 - 0.99619 = 0.00381 = 0.381\%$$

Distanța reală parcursă de navă este mai mare decât cea măsurată prin sistemul MARSMEC în proporția dată de relația (5-21); viteza indicată de sistem este mai mică deci decât viteza reală a navei în aceeași proporție.

Dacă sistemul MARSMEC măsoară viteza navei (considerată constantă) într-un interval de timp Δt, *viteza măsurată* este:

$$V = \frac{p - g}{\Delta t},$$

iar viteza reală:

$$V' = \frac{m}{\Delta t}.$$

Eroarea în viteză Δ este dată de relația:

$$\Delta = \frac{V' - V}{V'} = \frac{m - (p - g)}{\Delta t \cdot V'} = \frac{m - (p - g)}{m} \tag{5-22}$$

Respectiv, dacă abaterea θ = 5° și viteza navei este constantă în intervalul de timp Δt, eroarea în viteza măsurată Δ = 0.381%.

Navele mari, care fac obiectul aplicării sistemului MARSMEC, au o bună stabilitate de drum. Probele de viteză se execută în condiții hidrometeorologice favorabile, iar guvernarea navei după girocompas, folosind timonieri experimentați. Astfel, se poate aprecia că abaterile de la drumul de probă nu depășesc practic ±2°, deci erorile în distanță sau viteza măsurată se mențin în limitele de ±0.061%.

Experimentările comparative făcute cu procedeul „milelor jalonate" au condus la concluzia că sistemul MARSMEC oferă o precizie relativă care nu depășește limitele de ±0.3%, apreciată ca foarte bună.

6 MĂSURAREA ADÂNCIMII APEI

§1 Generalităţi

Măsurarea adâncimii apei este o operaţiune importantă la bord, îndeosebi în condiţiile unei navigaţii nesigure în apropierea coastei, când nu se oferă posibilitatea unei determinări precise şi continue a poziţiei navei. Pe vreme cu vizibilitate redusă, în zone cu funduri mici sau în cele expuse variaţiilor de adâncime, în zonele unde ridicările hidrografice pentru întocmirea hărţilor sunt vechi sau unde măsurătorile de adâncime nu au fost riguros executate (fapt menţionat de regulă în hărţile de navigaţie) şi în general în condiţiile unei navigaţii care nu prezintă siguranţă, se impune măsurarea continuă a adâncimii apei.

Măsurarea adâncimii apei prezintă interes ca acţiune de prevenire a pericolului punerii navei pe uscat, ca observaţie pentru controlul poziţiei navei şi pentru executarea manevrei de ancorare; în unele situaţii, cum este cazul la manevrele de ancorare, se impune şi necesitatea determinării naturii fundului mării (executarea "probelor de fund").

Siguranţa navigaţiei la navele de mare tonaj, a căror pescaje au atins în prezent valori considerabile, impune dotarea acestora cu mijloace capabile să măsoare precis şi continuu adâncimea apei atunci când se navigă în ape cu adâncimi limitate (în apropierea coastei, la trecerea prin strâmtori etc.).

Mijloacele de navigaţie folosite la bord pentru măsurarea adâncimii apei se numesc *sonde*; operaţiunea de măsurare a adâncimii apei este denumită *sondaj*. Se cunosc următoarele tipuri de sonde: *sonda simplă, sonda mecanică şi sonda ultrason*. Sonda ultrason, realizată în anul 1925, prezintă cea mai largă utilizare la bordul navelor. Sonda simplă este folosită în câteva situaţii speciale menţionate mai jos la §1 şi constituie o rezervă la bord a sondei ultrason; sonda mecanică nu mai este folosită în practica navigaţiei, ea mai aflându-se doar în dotarea navelor vechi. *Convenţia internaţională pentru ocrotirea vieţii umane pe mare* (1960) recomandă dotarea navelor maritime cu sonda ultrason (Anexa D "Recomandări").

Normele Registrului Naval Român prevăd obligativitatea dotării navelor maritime comerciale cu o sondă ultrason şi o sondă simplă.

Adâncimea apei este indicată în hărţile marine în metri, braţe sau picioare; cel mai comod pentru practica navigaţiei este ca sondele din dotarea navei să exprime adâncimile în unitatea de măsură folosită în hărţi.

§2 Sonda simplă (hand lead)

Sonda simplă se compune dintr-o greutate și o saulă gradată; adâncimea apei se măsoară prin lungimea saulei filate, orientată pe direcția verticalei locului, astfel ca greutatea să atingă fundul. Este utilizabilă la viteze mici ale navei și la adâncimi limitate, până la 40-50– m; un timonier bine antrenat poate măsura adâncimea apei până la viteze de 5-6 Nd.

Normele Registrului Naval Român prevăd dotarea navelor maritime cu sonde simple având greutatea de 3.25-5 kg, din plumb sau fontă și o saulă cu o lungime de 52 m.

Gradarea saulei sondei se face astfel: la fiecare metru, o bucată de piele; la 5, 15, 25, 35, 45 metri o bucată de șuviță; la 10 m, o bucată de astar albastru, la 20 m – astar alb, la 30 m – astar roșu și la 40 m – astar galben. Înainte de gradare, saula se udă și se întinde ușor.

Sondajul se execută aruncând greutatea sondei în sensul deplasării navei și filând saula până la momentul atingerii fundului; în momentul citirii adâncimii, saula trebuie să fie orientată pe direcția verticalei locului. Pe timpul zilei, citirea saulei sondei corespunzătoare adâncimii se face la nivelul apei; pe timpul nopții, citirea se face la nivelul copastiei, adâncimea apei determinându-se din citirea la saulă minus înălțimea copastiei deasupra nivelului apei.

Adâncimea apei sub chila navei este egală cu adâncimea măsurată minus pescajul navei; pescajul considerat în acest caz este cel maxim, care de regulă este pescajul pupa, ținând seama de faptul că navele se încarcă asigurându-se o ușoară apupare.

În cazul când în momentul atingerii fundului saula sondei se întinde spre pupa (la mers înainte), sondajul citit se corectează scăzând câte 0.2 m la fiecare 10 m adâncime, când înclinarea saulei este de cca 10° față de verticală și câte 0.6 m, când înclinarea este de cca 20°.

Sondajele cu sonda simplă se execută în bordul de sub vânt. Greutatea sondei are în partea inferioară un orificiu care se umple cu seu, pentru a lua "probe" în vederea stabilirii naturii fundului mării (nisip, mâl etc.); în cazul în care fundul este stâncos sau cu pietre, suprafața seului (nivelată înainte de filarea greutății) se deformează prin contactul cu acestea. Natura fundului interesează la manevra de ancorare, cât și pentru obținerea unor indicii asupra poziției navei.

Comunicarea rezultatului sondajului de către timonierul care îl execută trebuie să conțină: locul la bord, adâncimea apei, natura fundului, sensul deplasării navei. De exemplu: "prova tribord, metri douăzeci, fundul nisip, nava merge încet înainte!"; când nu se atinge fundul, se indică lungimea saulei filate, astfel: "prova tribord, metri patruzeci, fără fund, nava merge încet înapoi!".

Așa cum s-a arătat, sonda simplă constituie o rezervă și un mijloc de control al preciziei indicațiilor sondei ultrason la bord. Mai frecvent se folosește la următoarele ocazii:

– la manevrele de ancorare, pentru măsurarea adâncimii apei și luarea de probe de fund;

– pe timpul încărcării navei, în porturi cu adâncime limitată. Sondajele se execută de pe punte în ambele borduri; încărcarea navei se oprește în funcție de rezultatele sondajelor, când se ajunge la limita de pescaj stabilită de autoritățile portuare;

– în caz de eșuare a navei. Se execută sondaje de pe punte, de la prova la pupa, în ambele borduri, la distanțe care se stabilesc funcție de felul fundului. Rezultatele sondajelor se trec pe o schiță, reprezentând o vedere orizontală a navei; poziția sondajelor se precizează prin menționarea numărului de ordine a coastelor sau prin indicarea anumitor părți principale ale navei, în dreptul cărora se execută măsurătorile. În felul acesta se poate trage o concluzie asupra profilului și a măsurătorilor de întreprins pentru dezeșuarea navei.

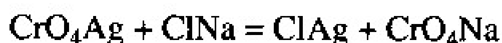
§3 Sonda mecanică (wire sounding machine)

Măsurarea adâncimii apei cu sonda mecanică se bazează pe legea lui Boyle-Mariotte: la temperatură constantă, volumul unui gaz închis într-un recipient variază invers proporțional cu presiunea ce se exercită asupra lui.

Presiunea apei crește cu adâncimea și anume, la fiecare 10 m, presiunea crește cu aproximativ o atmosferă.

Principiul enunțat se aplică la măsurarea adâncimii apei cu sonda mecanică astfel: cu ajutorul unei greutăți se scufundă un "tub de sondă" în poziție verticală, închis la capătul de sus și deschis la cel inferior, până la atingerea fundului mării; tubul de sondă are pe suprafața interioară un strat subțire de cromat de argint, de culoare roșie închisă, care în contact cu *apa de mare* devine alb-gălbui. Nivelul la care apa pătrunde în tubul de sondă decolorând cromatul de argint este funcție de presiunea care se exercită asupra volumului de aer închis în tub, iar presiunea este proporțională cu adâncimea apei la care acesta atinge fundul. Adâncimea apei se stabilește așezând tubul de sondă de-a lungul unei rigle gradate (în brațe și metri), în funcție de lungimea părții nedecolorate a tubului, citind gradația din dreptul limitei de decolorare.

Explicația reacției chimice produsă în tubul de sondă este foarte simplă. *Clorura de sodiu* ClNa conținută în apa de mare atacă *cromatul de argint* (CrO_4Ag) de pe suprafața tubului de sondă, dând naștere următoarei reacții:



$$CrO_4Ag + ClNa = ClAg + CrO_4Na$$

Din această reacție chimică rezultă clorură de argint (ClAg), de culoare albă-gălbuie și cromat de sodiu (CrO_4Na), solubil în apă, care este antrenat de apa de mare, părăsind tubul de sondă la scoaterea acestuia din mare.

Din cele arătate se conclude că acest tip de sondă nu este utilizabil decât în apă de mare.

Dat fiind faptul că sonda mecanică este pe cale de dispariție de la bordul navelor, ne limităm doar la enunțarea făcută a principiului ei de utilizare.

§4 Sonda ultrason (echo sounder)

1 Principiul măsurării adâncimii apei cu sonda ultrason

Principiul care stă la baza măsurării adâncimii apei cu sonda ultrason este următorul (fig. 6-1):

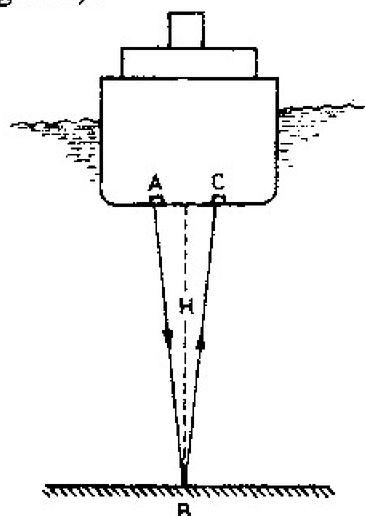


Fig. 6-1

– un emițător de ultrasunete instalat pe fundul navei în *A* emite periodic impulsuri scurte de unde ultrasonore, sub forma unui fascicul dirijat în jos pe o direcție verticală;

– fasciculul de ultrasunete este reflectat de fundul mării (în *B*) și recepționat la bordul navei de un receptor montat în *C*. La anumite instalații emițătorul îndeplinește și funcția de receptor, deci emisia și recepția ultrasunetelor se face din același punct; la altele, acestea sunt diferite, dar instalarea lor se face după anumite reguli, emițătorul și receptorul fiind instalate câte unu în fiecare bord, în aceeași secțiune transversală în imediata apropiere a chilei navei;

– considerând viteza (v) de propagare în apă a ultrasunetelor constantă și neglijând practic spațiul AC, adâncimea apei (H) sub chila navei se determină prin măsurarea timpului t necesar pentru ca impulsul de ultrasunete să parcurgă spațiul $AB + BC$, din relația:

$$H = \frac{vt}{2} \qquad (1)$$

Dacă intervalul de timp contat între momentele emisiei și recepției unui impuls de ultrasunete este de exemplu 0.1 secunde, iar viteza de propagare a ultrasunetelor în apa de mare se consideră 1500 m/s, rezultă că adâncimea sub chila navei este de 75 m.

Scala sondei ultrason se gradează în metri, brațe sau picioare, asigurându-se transformarea timpului măurat între momentele emisiei și recepției impulsurilor de ultrasunete în indicații de adâncime, printr-un dispozitiv special. Pentru a asigura precizia sondajelor la 1 m, considerând viteza de propagare a ultrasunetelor în apa de mare cu valoarea sa medie de 1500 m/s, rezultă că timpul trebuie cotat la precizie de 1/750 secunde.

Pe lângă indicarea adâncimilor pe un ecran, sonda ultrason asigură şi înregistrarea acestora, obţinându-se astfel profilul fundului mării pe drumul urmat de navă.

2 Propagarea ultrasunetelor în apa de mare

Ultrasunetele sunt vibraţii sonore care ies din limita de audibilitate a urechii omului având o frecvenţă de 20 000 Hz.

Undele sonore prezintă importanţă în navigaţia maritimă, deoarece constituie singura energie oscilatorie care se propagă cu rezultate satisfăcătoare în apa de mare.

Ultrasunetele se supun aceloraşi legi ca şi sunetele, însă propagarea lor în apa de mare prezintă anumite particularităţi, a căror cunoaştere este necesară pentru înţelegerea funcţionării sondei ultrason, astfel:

– având o lungime de undă mică, ultrasunetele se pot emite şi propaga sub formă de fascicule dirijate (ca şi undele luminoase), spre deosebire de undele sonore obişnuite care se propagă sferic;

– propagându-se sub formă de fascicul dirijat, întreaga energie radiată de un emiţător este concentrată numai pe direcţia de propagare, fapt care are drept consecinţă o mare putere de pătrundere;

– intensitatea undelor sonore este proporţională cu pătratul frecvenţei, deci energia transportată de ultrasunete este apreciabil superioară energiei sunetelor de aceeaşi amplitudine;

– când pe direcţia de propagare ajung la suprafaţa de separare a două medii, ultrasunetele se reflectă şi se refractă, ca şi undele luminoase;

– dau naştere fenomenului de cavitaţie, care se manifestă prin apariţia unor bule de aer ce se ridică la suprafaţa apei.

Apa de mare, ca mediu de propagare a ultrasunetelor, prezintă o serie de condiţii specifice, între care considerăm indicat a se menţiona următoarele:

a – energia ultrasunetelor scade odată cu îndepărtarea acestora de sursa care le produce, datorită fenomenului de *absorbţie* de către mediul în care se propagă. Absorbţia provocată de apă, ca mediu de propagare a ultrasunetelor, este superioară celei produse în atmosferă.

Fenomenul de *absorbţie* este cauzat de trei factori importanţi: vâscozitatea mediului (care produce frecări interioare), radiaţia energiei sub formă de energie calorică şi absorbţia intermoleculară a energiei;

b – apa de mare nu constituie un mediu omogen, adică proprietăţile de propagare acustică oferite de mediu nu sunt identice în totalitatea punctelor masei de apă.

În apa de mare sunt suspendate o sumedenie de particule, de nisip sau mici forme de vietăţi marine, capabile să provoace atât *difracţia* ultrasunetelor (ocolirea obstacolelor de dimensiuni foarte mici), cât şi *reflexia* acestora.

Bulele de aer întâlnite cauzează absorbţia unei părţi a energiei ultrasunetelor, cât şi reflexia lor. Dacă aceste bule de aer prezintă o concentraţie mare, cum poate fi cazul sub coca navei pe mare agitată, când se navigă cu viteză mare având o apupare excesivă sau când maşina principală merge înapoi şi curentul respins de elice ajunge sub navă, acestea pot absorbi toată energia incidentă a ultrasunetelor.

Neomogenitatea apei de mare este cauzată în principal de diferențele de temperatură, salinitate și presiune a maselor de apă străbătute, care determină variația vitezei de propagare a ultrasunetelor. *Viteza de propagare a ultrasunetelor crește cu temperatura, salinitatea și presiunea apei de mare.*

Variația vitezei ΔV_t de propagare a ultrasunetelor, în funcție de temperatura apei de mare, la densitatea constantă este dată de relația:

$$\Delta V_t = 0.0023\ vt$$

unde: v = viteza medie de propagare a ultrasunetelor (= 1500m/s) și t = temperatura apei în grade Celsius. Formula arată că la creșterea temperaturii apei cu 1°C, viteza de propagare se mărește cu 3.3 m/s.

Variația vitezei ΔV_n a ultrasunetelor în apa de mare în funcție de salinitate este: $\Delta V_n = 0.00123\ v.n.$

unde n = salinitatea apei în ‰. La creșterea salinității apei cu 1‰, viteza de propagare se mărește cu 1.8 m/s.

Variația vitezei ΔV_p de propagare a ultrasunetelor funcție de presiunea apei de mare este exprimată de egalitatea:

$$\Delta V_p = 0.00022\ p$$

unde p = presiunea hidrostatică. Se știe că presiunea apei de mare crește la fiecare 10 m adâncime cu o atmosferă. La creșterea adâncimii cu 100 m, deci a presiunii cu 10 atmosfere, viteza de propagare se mărește cu 3.3 m/s.

Cele trei formule indicate mai sus privind variația vitezei de propagare a ultrasunetelor în apa de mare în funcție de temperatură, salinitate și presiune au fost stabilite pe cale experimentală.

În Marea Roșie, de exemplu, unde apa de mare are o temperatură mare și o salinitate ridicată, creșterea vitezei de propagare a ultrasunetelor în zone cu adâncimi mari poate atinge valoarea de 5% (75 m/s); acest fapt este indicat și pe hărțile de navigație a acestor zone.

Sondajele efectuate în cadrul lucrărilor hidrografice, care trebuie să fie caracterizate printr-o înaltă precizie, trebuie să fie corectate funcție de efectele celor trei factori.

Eroarea liniară a sondajelor efectuate cu sonda ultrason, sub efectul diferenței de temperatură, salinitate și presiune a apei la adâncimi mici este redusă; eroarea liniară în indicațiile sondei ultrason sub efectul celor trei factori crește cu adâncimea. De exemplu, la o eroare apreciabilă de ±3%, eroarea în indicațiile sondei este de 0,30 m la o adâncime de 10 m și de 3 m la adâncimea de 100 m ș. a. m. d. De aceea, la bordul navelor maritime comerciale, unde rationamente legate de siguranța navigației impun cunoașterea precisă a sondajelor doar la adâncimi reduse, nu se face corecția indicațiilor sondei ultrason în funție de temperatura, salinitatea și presiunea apei de mare.

Conferința internațională de hidrografie (1962) a stabilit că la o temperatură de 13°C, viteza medie de propagare a ultrasunetelor prin apa de mare se consideră egală cu 1500 m/s = 820 brațe/secundă = 4920 picioare/secundă.

În anumite zone, curenții marini sau regimul vânturilor cauzează formarea unor straturi termale în apa de mare, cu variații însemnate de temperaturăla trecerea prin ele; acestea pot determina refracția sau reflexia ultrasunetelor. Efecte similare cauzate de schimbări mari de salinitate pot fi întâlnite în zonele de vărsare a râurilor în mare;

c – în apa de mare impulsurile de ultrasunete întâlnesc "zgomote" întâmplătoare, capabile să perturbe propagarea, denumite "*zgomote de reverberaţie*".

O primă categorie este constituită de zgomotele provocate de surse exterioare, între care principalele sunt: valurile, zgomotele provenind de la nava proprie (elice, maşini etc.) şi de la navele care trec în apropiere. Pentru combaterea perturbaţiilor provocate de aceste zgomote, sondele ultrason se proiectează astfel încât să asigure emiterea unui semnal capabil să fie "recunoscut" deasupra nivelului de zgomote ale tuturor celorlalte surse externe însumate.

O altă categorie de perturbaţii în propagarea ultrasunetelor este generată de sistemul propriu de emisie-recepţie folosit de sonda ultrason. După emiterea unui impuls de ultrasunete, el este imediat afectat de întâlnirea pe direcţia de propagare cu o serie de "reflectoare": bule de aer, particule de nisip, mâl sau mici vietăţi marine etc... Acestea reflectă o parte din energia emisă sub forma unor semnale de reflexie, denumite "*semnale de reverberaţie*", care sunt captate de receptorul de la bord. Fiecare reflexie este însoţită de o anumită absorbţie, astfel că intensitatea semnalelor de reverberaţie este diminuată. Fenomenul poate fi considerat continuu, deoarece asemenea "reflectoare" se întâlnesc la toate adâncimile pe direcţia de propagare a impulsurilor de ultrasunete. Frecvenţa lor variază practic în funcţie de densitatea particulelor ce provoacă reflexia şi care de regulă este maximă în zonele de la vărsarea fluviilor în mare, la întâlnirea a doi curenţi, pe funduri mici nisipoase în timp de vreme rea etc.

În concluzie, în exploatarea sondelor ultrason la bordul navelor maritime, apa de mare – ca mediu de propagare a ultrasunetelor poate provoca fenomene complexe; ofiţerii maritimi trebuie să cunoască forma de manifestare a acestora în indicaţiile date de sonda ultrason, pentru a fi în măsură să interpreteze corect sondajele efectuate.

3 Emiţătoare şi receptoare de ultrasunete. Vibratoare

Emiţătoarele şi receptoarele de ultrasunete sunt denumite vibratoare sau oscilatoare. Vibratoarele moderne sunt de două feluri: *vibratoare piezoelectrice şi vibratoare magnetostrictive.*

A Vibratoare piezoelectrice

O lamă de cuarţ dacă este supusă unei presiuni pe feţele ei, acestea se încarcă cu sarcini electrice de un semn pe una din feţe şi de semn opus pe cealaltă faţă (fig. 6-2).

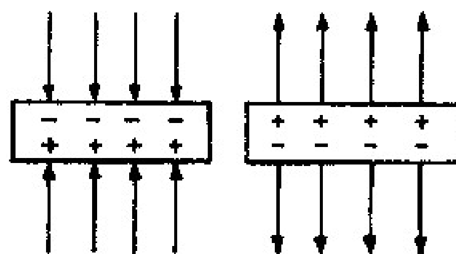


Fig. 6-2

Când forţa de comprimare pe feţele lamei de cuarţ se transformă în întindere, sarcina electrică a fiecărei feţe îşi schimbă semnul; fenomenul este denumit efect piezoelectric.

Efectul piezoelectric invers se realizează astfel: cele două fețe ale lamei de cuarț sunt aduse în contact cu armăturile unui condensator electric plan, între care se stabilește o diferență de potențial (prin crearea unui câmp electric); pe fețele lamei de cuarț apar sarcini electrice și lama se deformează, comprimându-se sau dilatându-se în sens perpendicular pe fețe. Dacă condensatorul se conectează într-un circuit alternativ de înaltă frecvență, polaritatea electrică a armăturilor lui variază periodic cu aceeași frecvență, fapt care determină deplasări ale fețelor lamei de cuarț în ritmul oscilațiilor curentului electric. Dacă se modifică frecvența oscilațiilor circuitului electric, variază corespunzător și frecvența oscilațiilor lamei de cuarț; pentru a obține oscilații maxime ale cuarțului, se recomandă ca frecvența curentului electric alternativ să fie egală cu frecvența proprie cu care vibrează sistemul lamă de cuarț – armături. Vibrațiile astfel obținute se transmit în mediul înconjurător ca ultrasunete.

Efectul piezoelectric invers este aplicat la realizarea vibratoarelor de emisie, iar efectul piezoelectric direct la obținerea vibratoarelor de recepție. *Sub acțiunea câmpului electric alternativ, vibratorul de emisie produce oscilații ultrasonore, iar sub acțiunea oscilațiilor ultrasonore se creează un câmp electric alternativ în vibratorul de recepție.*

La sondele ultrason realizate cu vibratoare piezoelectrice se poate folosi atât efectul piezoelectric invers cât și cel direct, la același vibrator; în acest caz vibratorul are funcție dublă – de emițător de ultrasunete și de receptor.

În prezent cristalul de cuarț este folosit rar la vibratoarele sondelor ultrason, datorită dificultăților de prelucrare. Sondele ultrason moderne folosesc proprietățile piezoelectrice ale *titanatului de bariu* sau ale *zirconatului de plumb*.

B *Vibratoare magnetostrictive*

Dacă o bară dintr-un material feromagnetic (fier, nichel, cobalt sau aliajele lor) se introduce într-un câmp magnetic, bara suferă o alungire sau o contractare; această variație în lungimea barei depinde de natura materialului și intensitatea câmpului magnetic.

Sensul de deformare (alungire sau contractare) a barei nu depinde de sensul câmpului magnetic. De exemplu, folosind o bară de nichel, pe cale experimentală se constată că aceasta se contractă întotdeauna; o bară de oțel sau de cobalt poate să prezinte o deformare în ambele sensuri, alungire sau contractare, în funcție de intensitatea câmpului magnetic.

Această proprietate a materialelor feromagnetice se numește *magnetostricțiune directă*; deformațiile cele mai mari le prezintă nichelul.

Dacă o bară de metal feromagnetic se introduce într-o bobină alimentată cu curent alternativ, lungimea barei variază, lungindu-se sau scurtându-se și revenind la dimensiunile inițiale, periodic, sub influența câmpului magnetic alternativ generat de bobină. Dacă această bară este din nichel, ea se contractă când curentul trece prin bobină într-un sens sau altul și își revine la lungimea inițială, când curentul alternativ, respectiv câmpul magnetic indus, trece prin zero, de două ori în fiecare perioadă.

În cazul în care curentul alternativ are o frecvență ce face ca bara să vibreze la frecvența proprie a sistemului, oscilațiilor longitudinale ale barei devin maxime.

Aceste oscilații se transmit în mediul înconjurător sub formă de ultrasunete; un asemenea dispozitiv poate fi folosit ca vibrator de emisie a ultrasunetelor.

Se poate produce și un *fenomen magnetostrictiv invers*, astfel: schimbarea în lungimea barei produsă printr-un procedeu mecanic determină magnetizarea nichelului. Provocând vibrarea barei de nichel se naște un câmp magnetic alternativ în jur, care generează un curent alternativ în spirele bobinei. Pe baza fenomenului magnetostrictiv invers se realizează vibratoarele de recepție; ecoul impulsului de ultrasunete reflectat de fundul mării provoacă vibrarea mecanică a barei de nichel, care formează un câmp magnetic alternativ în jur, sub efectul căruia se generează un curent alternativ în spirele bobinei, de frecvența oscilațiilor undelor ultrasonore.

Vibratoarele magnetostrictive pentru sondele ultrason se realizează din pachete de lame subțiri de nichel laminat, izolate între ele sau din inele de nichel laminat.

Vibratoarele magnetostrictive sunt mai robuste și pot fi practic montate oriunde pe fundul navei; sunt însă mai puțin eficiente decât vibratoarele piezoelectrice.

Vibratoarele piezoelectrice sunt mai fragile, mai expuse la avarii în urma unor efecte mecanice („lovituri de valuri ", vibrații, punerea navei pe uscat etc.).

La sondele ultrason de înaltă eficiență, vibratoarele piezoelectrice au prioritate; dealtfel, aceasta este și tendința generală în ultima perioadă, ca urmare a îmbunătățirii tehnologice de fabricare a lor.

4 Poziția vibratoarelor pe carena navei

Performanțele în precizie realizate în funcționare de o anumită sondă ultrason depind într-o măsură considerabilă de condițiile care se asigură emisiei, propagării și recepției ultrasunetelor, ca urmare a poziției de montare a vibratoarelor de emisie și recepție pe carena navei; poziția de montare a vibratoarelor trebuie aleasă astfel ca efectul perturbator al diferiților factori să fie minim. Problema prezintă un interes deosebit pentru navele maritime moderne cu viteză mare, cu mașini puternice și cu forme specifice de construcție.

Un prim criteriu care trebuie avut în vedere este de a plasa vibratoarele cât mai departe de sursele principale de zgomote: elicea și prizele de fund ale instalației de răcire a mașinilor.

Prizele de fund pe lângă faptul că sunt surse de zgomot, circulația apei prin ele favorizează și formarea de bule de aer; de aceea trebuie să se evite plasarea vibratoarelor în pupa acestora.

Bulele de aer care se formează și se propagă sub coca navei constituie însă sursa principală de perturbații în funcționarea sondei ultrason. Așa cum s-a arătat mai sus, la punctul 2, acestea consituie *reflectoare* ale impulsurilor de ultrasunete, care provoacă *semnale de reverberație*, capabile să reducă eficiența în funcționare a sondei; în cazul în care densitatea bulelor este mare, deci semnalele de reverberație frecvente, apare chiar pericolul ca sonda ultrason să înceteze de a da indicații de adâncime. De aceea se impune un studiu atent al fenomenului de generare și propagare a bulelor de aer sub coca navei; fenomenul poartă numele de „*aerare*".

Valul prova, care se formează în prova navei și se extinde la circa 1/4 până la 1/3 din lungimea navei spre pupa (funcție de formele carenei în zona prova), constituie o sursă principală generatoare de bule de aer; acestea se nasc în zona de turbulență în care se formează valul prova și sunt antrenate de liniile de apă sub carena navei la limita dinspre pupa a acestui val. Se conclude că de la limita dinspre pupa a valului prova, densitatea bulelor de aer este mare și se impune a se evita montarea vibratoarelor în această zonă.

O altă sursă de *aerare*, de formare a bulelor de aer, o constituie fenomenul, de cavitație de-a lungul carenei; micile neregularități pe suprafața carenei, ca depuneri de scoici, rugina, basele etc... generează bule de aer ce se scurg de-a lungul navei, fenomenul fiind mai intens spre pupa.

Ținând seama de cele arătate mai sus, la navele cu forme convenționale ale provei, montarea vibratoarelor trebuie făcută pe fundul navei în secțiunea cuprinsă de la prova până la 1/3 din lungimea ei spre pupa, într-o zonă lipsită de surse de zgomote și de deformații constructive (dopuri de fund, cordoane de sudură – îndeosebi cele traversale etc.); în cazul montării a două vibratoare, de emisie și recepție ele se plasează în aceeași secțiune transversală, cât mai aproape de planul diametral al navei.

La navele moderne având prova cu bulb, cu avantajul unei reduceri a rezistenței la înaintare, condițiile de formare și propagare a bulelor de aer se modifică în mod apreciabil. Fenomenul de aerare este mai intens la prova cu bulb decât la formele convenționale ale provei, indiferent de starea de plutire a navei ca urmare a condițiilor de încărcare; bulele de aer formate în zona de turbulență, cauzate de pătrunderea bulbului în masa de apă, sunt antrenate sub carena navei la o distanță prova considerabil mai mică. Experiențele efectuate pe nave cu bulb la diferite stări de încărcare arată că fenomenul de aerare începe să se manifeste cu intensitate în zona delimitată spre pupa de peretele de coliziune prova.

De aceea, la acest tip de nave se recomandă ca vibratoarele să fie plasate în prova peretelui de coliziune, cel mai indicat loc fiind chiar în zona bulbului.

Desigur că din punct de vedere constructiv și al instalării sondei ultrason indicația dată mai sus constituie de multe ori o soluție incomodă, care poate genera dispute între constructor și beneficiar; criteriile enunțate privind montarea vibratoarelor sondei ultrason pe carena navei trebuie avute însă în vedere cu toată atenția în activitatea de proiectare, avizare a proiectelor și la supravegherea construcției, pentru a evita riscul ineficienței sondei ultrason, mijloc deosebit de important pentru siguranța navigației.

5 Principiul de funcționare a sondei ultrason

Figura 6-3 reprezintă schema de principiu a sondei ultrason. Motorul electric (1) rotește axul (3) și discul (6); regulatorul electric (2) asigură uniformitatea acestei rotații. La fiecare rotație completă, o roată prevăzută cu o camă (4) stabilește un contact care acționează vibratorul de emisie (8) montat pe fundul navei, emițând un impuls scurt de ultrasunete; simultan, tubul cu neon (7) orientat radial, care se rotește odată cu discul (6) trece prin dreptul gradației zero a scalei (12), exterioară acestui disc.

Impulsul de ultrasunete emis de vibratorul de emisie (8) se propagă pe o direcţie verticală în jos prin apa de mare, în condiţiile menţionate mai sus, fiind reflectat în punctul F de pe fundul mării; ecoul semnalului ultrasonor este recepţionat de vibratorul de recepţie (9). Sub acţiunea eforturilor mecanice ale oscilaţiilor ultrasonore, vibratorul de recepţie generează o energie electrică pe care o transmite la amplificator (10); această energie electrică amplificată aprinde tubul cu neon (7), cu iluminare instantanee, citindu-se adâncimea măsurată pe scală (12) în dreptul semnalului luminos.

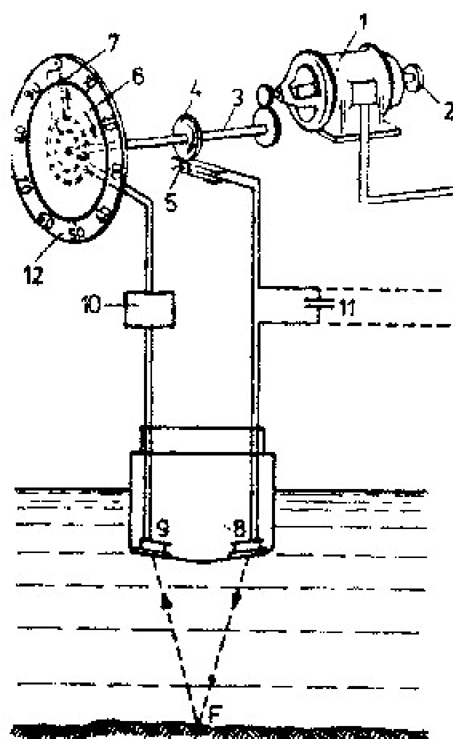


Fig. 6-3

Tubul cu neon (7) se roteşte odată cu discul (6) cu o viteză uniformă; acesta trece prin poziţia zero a scalei în momentul emiterii impulsului de ultrasunete şi luminează în momentul recepţiei ecoului. Rezultă că tubul cu neon efectuează o rotaţie de un anumit unghi, proporţional cu timpul necesar impulsului de ultrasunete să parcurgă distanţa vibrator de emisie – fundul mării – vibrator de recepţie; considerând viteza de propagare a ultrasunetelor constantă, acest timp este funcţie de adâncimea apei (relaţia 1). Se poate spune deci că unghiul descris de tubul cu neon din poziţia zero până în poziţia semnalului luminos este proporţional cu adâncimea apei, în funcţie de care se gradează scala (12).

Scala sondelor ultrason se gradează în metri sau braţe. La cele care sunt gradate în braţe, prin modificarea vitezei de rotaţie a discului (6) şi a tubului cu neon (7) într-o proporţie de 1/6, aceeaşi scală va indica adâncimea apei în picioare (se ştie că 1 picior = 1/6 braţe).

Sistemul de indicare optică a adâncimilor arătat mai sus impune o supraveghere continuă a sondei pe timpul funcţionării de către un observator, cu sarcina citirii sondajelor. În cazul necesităţii efectuării unor sondaje de durată, sonda ultrason înregistratoare prezintă avantaje evidente.

Normele Registrului Naval Român prevăd obligativitatea ca sonda ultrason să aibă ambele sisteme, cu indicator optic a sondajelor şi înregistrator, fără a se impune însă funcţionarea lor simultană.

Principiul aplicat pentru sistemul de înregistare a sondajelor la diferitele tipuri de sonde este acelaşi, deosebirea constă doar în detalii de construcţie.

O bandă de hârtie (1) de o compoziţie specială este derulată cu o viteză constantă deasupra unei plăci metalice (2), care îndeplineşte rolul de „pupitru de scris"; banda de hârtie este desfăşurată de pe un sul aflat în spatele plăcii metalice şi înfăşurată pe sulul (3) – figura 6-4.

Un braţ cu un stil (peniţă specială) în vârf (4) este rotit în sens direct, cu o viteză constantă, de axul (5). Când stilul se află într-o anumită poziţie (*A*), aproape de marginea din stânga a benzii de hârtie, se înregistrează un semn (punctiform); acest moment este simultan emiterii impulsului de ultrasunete de către vibratorul de emisie.

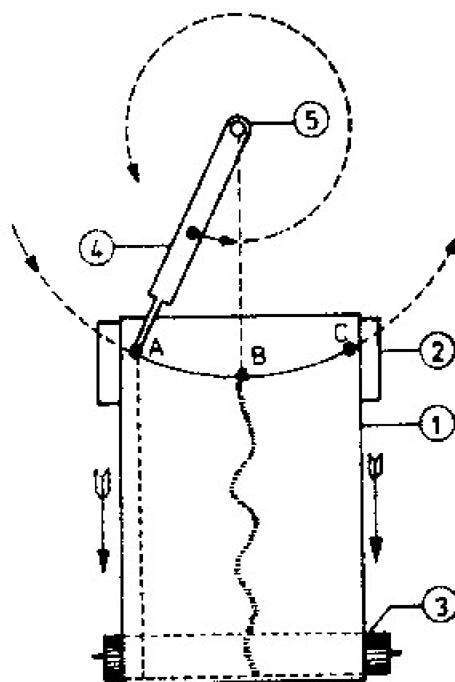


Fig. 6-4

În momentul recepţiei ecoului de către vibratorul de recepţie, sistemul marchează pe banda de hârtie poziţia corespunzătoare *B*; arcul *AB* este proporţional cu adâncimea apei în momentul sondajului. Adâncimea se citeşte pe o scară gradată (în metri, braţe sau picioare), care este marcată de-a lungul arcului *AC*, acoperind banda de hârtie pe întreaga ei lăţime.

Totalitatea semnelor corespunzătoare momentului *B*, marcate pe banda de hârtie, care este derulată cu o viteză uniformă – aşa cum s-a arătat, reprezintă profilul fundului pe drumul urmat de navă; această linie care uneşte totalitatea punctelor *B* este denumită *„linia ecourilor"* sau *„linia fundului"*. Semnele corespunzătoare momentului *A* marcate de-a lungul marginii din stânga a benzii de hârtie este denumită *„linia zero"* a sondei înregistratoare.

6 Utilizarea sondei ultrason în navigație. Interpretarea indicațiilor

Serviciile pe care sonda ultrason le aduce în navigație sunt condiționate de modul de exploatare și corecta interpretare a indicațiilor.

Amplificarea excesivă după punerea în funcțiune a sondei cauzează apariția pe banda înregistratoare a o serie de linii și semne, imediat în dreapta *liniei zero* sau a mai multor semnale luminoase în dreapta gradației zero a scalei indicatorului optic, denumite *semnale de încrucișare,* acestea sunt cauzate de o parte a energiei oscilatorii emise, care se transmite direct la vibratorul de recepție prin tablele de fund ale navei sau prin apă. Semnalele de încrucișare nu apar ca o linie continuă pe banda de înregistrare, deoarece traiectoriile urmate de ultrasunetele care le generează și mediile de propagare diferă.

În cazul adâncimilor mici, situație în care obținerea unor indicații clare este doesebit de importantă, *semnalele de încrucișare* acoperă complet *linia ecourilor* la sonda înregistratoare, respectiv *semnalul luminos de adâncime* la indicatorul optic. Pentru a se evita o asemenea situație nefavorabilă, la punerea în funcție a sondei se reduce amplificarea, care se mărește apoi treptat până la obținerea unor indicații clare; amplificarea optimă este indicată de o *linie a ecourilor* bine conturată la sonda înregistratoare, și respectiv niște *semnale luminoase de adâncime* singulare și constante, pe indicatorul optic.

Corectarea sondajelor funcție de pescajul navei se efectuează atunci când se impune compararea adâncimilor măsurate cu cele indicate în harta de navigație, pentru controlul poziției navei.

Sonda ultrason indică adâncimea apei de la nivelul vibratoarelor până la fundul mării; pentru obținerea adâncimii apei față de nivelul mării trebuie însumată adâncimea de sondă cu pescajul navei (la nivelul vibratoarelor). La navele care au o variație de pescaj neînsemnată (navele de pasageri, navele militare etc.), această operațiune poate fi eliminată la sondele înregistratoare printr-o decalare corespunzătoare spre stânga a *liniei zero,* funcție de pescajul navei. La navele de transport însă o asemenea reglare a sondei este fără sens, datorită variației considerabile a pescajului funcție de starea de încărcare; de aceea, la aceste tipuri de nave, *linia zero* a sondei corespunde întotdeauna nivelului vibratoarelor.

Controlul preciziei adâncimilor indicate de sondă se efectuează cu o sondă simplă. Această operațiune se recomandă a fi efectuată periodic, pe un fund pe cât posibil plat, fără neregularități; cea mai bună ocazie se oferă când nava staționează în așteptarea pilotului sau când se execută manevra de apropiere spre locul de ancorare.

Se măsoară simultan adâncimea apei cu sonda simplă, în dreptul vibratoarelor și cu sonda ultrason; operațiunea se repetă de două sau trei ori, în poziții diferite ale navei. Media diferențelor dintre indicațiile sondei ultrason și ale sondei simple, după sondajele luate cu sonda simplă au fost corectate funcție de pescajul navei, reprezintă corecția sondei ultrason; în cele menționate s-a considerat că viteza de propagare a ultrasunetelor prin apă este constantă.

Sondajele efectuate cu sonda ultrason se corectează în funcție de eroarea determinată.

Ecourile duble sau tiple în indicațiile sondei apare de regulă pe funduri dure (stâncă, piatră etc.) cu o capacitate mare de reflexie a ultrasunetelor, la adâncimi mici și medii, când sonda este reglată cu amplificare excesivă. În acest caz, pe banda înregistratoare apar două sau trei linii ale ecourilor, orientate aproape paralel (fig. 6-5), iar la indicatorul optic – două sau trei semnale luminoase de adâncime, apropiate.

Acest fenomen este consecința unei reflexii repetate a ultrasunetelor în sus și în jos, de două sau trei ori, între fundul mării și fundul navei sau suprafața mării. Într-o asemenea situație se impune o reglare atentă a sondei, reducând întâi în mod evident amplificarea și apoi mărind-o treptat până la obținerea unor indicații clare.

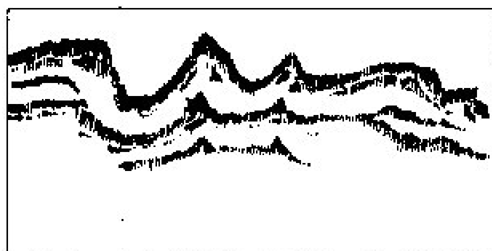


Fig. 6-5

Așa-denumitele „ecouri false" în indicațiile sondei ultrason, de cele mai multe ori sub forma unor ecouri slabe, sunt determinate de reflexia impulsurilor de ultrasunete la întâlnirea pe direcția de propagare a unor *reflectoare*, astfel:

– particule de nisip etc... sau vietăți marine mici;

– pești izolați sau bancuri de pești;

– straturi care separă mase de apă cu temperaturi sau salinitate mult diferite, așa cum s-a arătat la punctul 2*b*;

– planctonul, mâlul sau iarba de mare, când acestea acoperă un fund stâncos.

Fenomenul de aerare a straturilor de apă de sub carena navei, așa cum s-a arătat la punctele 2*b* și 4, prin generarea și propagarea de bule de aer în dreptul vibratoarelor și în calea impulsurilor de ultrasunete, poate cauza perturbații însemnate în funcționarea sondei ultrason, sub forma semnalelor de reverberație. Chiar dacă poziția de montare a vibratoarelor de emisie și recepție a fost corect aleasă (vezi pct. 4), totuși în anumite condiții de navigație fenomenul își arată efectele, astfel:

– pe mare agitată, cu tangaj și ruliu puternic. Fenomenul se observă cu mai multă intensitate când nava este în balast și în general când pescajul este redus;

– când se navigă în balast cu viteză mare, având o apupare excesivă;

– la manevra de ancorare, situație în care controlul adâncimii apei este necesar, în momentul când curentul respins al elicei (cu un conținut însemnat de bule de aer), cauzat de punerea mașinii "înapoi", ajunge sub vibratoarele de emisie și recepție. De cele mai multe ori în asemenea situații, sonda ultrason încetează de a mai da indicații de adâncime;

– la schimbări de drum cu un unghi mare de cârmă;

– după staționări ale navei în ape cu fund mâlos. Mâlul favorizează depunerea de bule de aer sub vibratoare, care dispar după un timp oarecare de navigație; dacă se

impune folosirea sondei imediat după plecare, într-o asemenea stuaţie se recomandă ca să se pună „maşina înapoi" pentru scurt timp, astfel încât curentul respins al elicei să „spele" fundul navei de bulele de aer, după care se pune maşina „înainte".

Sonda ultrason poate avea şi alte utilizări decât în scopul măsurării adâncimii. Astfel la adâncimi mici (de regulă limitate la 100 m), sonda înregistratoare poate fi folosită la identificarea epavelor pe fundul mării.

Sondele ultrason cu fascicul orientabil constituie un mijloc foarte preţios la bordul pescadoarelor şi al vânătoarelor de balene pentru identificarea şi determinarea elementelor de mişcare a bancurilor de peşti şi a balenelor.

Regulile Registrului Naval Român prevăd următorii parametri obligatorii pentru sondele ultrason instalate la bordul navelor maritime, în vederea acordării clasei:

– asigurarea măsurării adâncimii până la 500 m;

– precizia sondajelor trebuie să fie de cel puţin ±0.5 m până la adâncimi de 20 m şi de ±3% la adâncimi superioare celei de 20 m;

– scara adâncimilor măsurate trebuie să fie împărţită cel puţin în două game: de la 0-100 m şi de la 0-500 m;

– asigurarea unei funcţionări continue cel puţin 12 ore, fără pericolul supraîncălzirii părţilor componente.

7 HĂRŢI MARINE. DOCUMENTE NAUTICE

§1 Generalităţi asupra hărţilor. Scara hărţii

Harta este reprezentarea pe un plan, la o anumită *scară*, a suprafeţei Pământului sau a unei zone terestre limitate. În funcţie de precizia necesară acestei reprezentări, de extinderea zonei şi de scară, în întocmirea hărţilor, Pământul se consideră de forma unui *elipsoid de revoluţie* sau de formă *sferică*.

Harta marină este reprezentarea pe un plan, la o anumită scară, a unei zone maritime sau oceanice, conţinând datele care interesează conducerea navei, ca: linia coastei, relieful coastei, repere de navigaţie la coastă şi la suprafaţa apei, adâncimea apei, pericole hidrografice etc. Harta marină este documentul nautic de bază folosit la bordul navei.

Începând din secolul al XV-lea, harta marină a fost mijlocul în navigaţie care, alături de compasul magnetic, a adus servicii inestimabile progresului navigaţiei maritime şi consider că nu exagerez dacă afirm, chiar dezvoltării civilizaţiei omenirii.

Elipsoidul terestru, ca şi sfera terestră, sunt suprafeţe care nu pot fi desfăşurate în plan; acest fapt face ca reprezentarea plană a suprafeţei Pământului să nu fie fidelă sub toate aspectele. O asemenea reprezentare ar fi posibilă numai pe un glob care, din raţiuni uşor de înţeles, nu prezintă interes practic pentru navigaţie. Orice reprezentare în plan a suprafeţei terestre comportă anumite *deformaţii* (a figurii, unghiurilor, distanţelor sau suprafeţelor), care sunt proprii sistemului folosit la întocmirea hărţii. Printr-o alegere judicioasă a sistemului de reprezentare, anumite proprietăţi ale figurii pot fi păstrate, dar altele vor fi deformate; de exemplu, o anumită reprezentare păstrează unghiurile dintre direcţiile determinate de diferitele puncte din zonă, altele raportul suprafeţelor, dar nici una nu poate respecta deopotrivă aceste două proprietăţi. Raportul distanţelor de pe teren şi din hartă nu poate fi riguros respectat pe toată suprafaţa acesteia decât prin reprezentarea pe o *suprafaţă fidelă*, adică proiectând sfera terestră pe o sferă, respectiv elipsoidul terestru pe un elipsoid de revoluţie; nici o reprezentare plană nu are proprietatea de a respecta distanţele din zonă în ansamblu, pe întreaga suprafaţă şi în toate direcţiile acesteia.

Modul de reprezentare în plan a reţelei meridianelor şi paralelelor terestre, în raport de care se determină poziţia diferitelor puncte din zonă prin coordonatele lor geografice, se numeşte *reţea cartografică*. Procedeul folosit pentru construcţia reţelei cartografice şi de reprezentare în plan a suprafeţei Pământului sau a unei zone

limitate se numește *sistem de proiecție cartografică*; studiul acestor sisteme constituie obiectul *cartografiei*. Studiul zonelor maritime și oceanice pentru determinarea elementelor care constituie conținutul hărților marine (măsurarea adâncimii apei, determinarea poziției reperelor de navigație, identificarea pericolelor de navigație etc) și întocmirea acestora, formează obiectul *hidrografiei*.

Condițiile pe care harta trebuie să le satisfacă determină alegerea sistemului celui mai bine potrivit de proiecție cartografică, capabil să redea rețeaua cartografică și zona de reprezentat în forma cea mai adecvată rezolvării problemelor pentru care harta este destinată. Alegerea sistemului de proiecție este determinată deci de cerințele celui care folosește harta. Navigatorul, de exemplu, are nevoie de o hartă marină care să răspundă la următoarele cerințe principale: să se respecte conturul coastei pe care el o observă; să poată folosi relevmentele (unghiurile în general) și distanțele măsurate la reperele de navigație pentru determinarea poziției navei; loxodroma determinată de drumul navei să apară ca o dreaptă.

O singură proiecție nu reușește însă să satisfacă în întregime toate aceste condiții; în această situație, cartografia a reușit totuși să ofere o soluție de compromis, care satisface condițiile esențiale solicitate pentru zonele frecvente navigației.

Mărimea deformațiilor unei proiecții cartografice, indiferent de felul ei, este funcție de mărimea zonei pe care o reprezintă și anume: o anumită deformație este cu atât mai mare cu cât proiecția acoperă o suprafață terestră mai extinsă și invers.

După natura deformațiilor, proiecțiile cartografice se pot clasifica astfel:

– *proiecții conforme*, în care figurile reprezentate pe hartă sunt *asemenea* cu cele de pe teren. Asemănarea figurilor asigură *egalitatea unghiurilor* între direcțiile de pe hartă cu unghiurile dintre aceleași direcții de pe Pământ;

– *proiecții echivalente*, în care suprafețele și dimensiunile reprezentate în hartă sunt proporționale cu cele corespunzătoare de pe teren. Figurile reprezentate nu sunt asemenea, astfel că în proiecție nu se mai respectă egalitatea unghiurilor;

– *proiecții oarecare*, în care nu se respectă nici egalitatea unghiurilor și nici echivalența suprafețelor. Ele se fac pentru a satisface anumite condiții speciale, funcție de scopul întocmirii lor.

Cartografia studiază un număr însemnat de sisteme de proiecție, a căror denumire este dată funcție de suprafața de proiecție (cilindrică, conică, plană), poziția suprafeței de proiecție în raport cu elementele sferei sau elipsoidului terestru (drepată, transversală, oblică), poziția ochiului observatorului (centrală sau gnomonică, stereografică, ortografică, exterioară) etc.

În cele ce urmează vom prezenta doar sistemele de proiecție cartografică cu importanță în navigație și anume:

– proiecția centrală – cilindrică dreaptă;

– proiecția *Mercator;*

– proiecția gnomonică (centrală) ecuatorială, polară și oblică;

– proiecția stereografică ecuatorială.

Analiza lor se face mai aprofundat sau mai sumar, funcție de interesul pe care îl prezintă în navigație.

În hartă, lungimile sunt reduse față de aceleași lungimi de pe teren într-un raport determinat, exprimat prin scara hărții.

Scara hărții este raportul dintre lungimea unui segment unitar de pe hartă (de exemplu, 1 mm, 1 cm, 1 dm etc...) și lungimea reală a segmentului corespunzător de pe teren, exprimată în aceeași unitate de măsură.

De exemplu, dacă o hartă este la scara de $\frac{1}{50\,000}$, înseamnă că unui segment lung de 1 mm (1 cm etc.) de pe hartă îi corespunde o distanță de 50 000 mm (50 000 cm etc.). Scara exprimată sub forma unui asemenea raport se numește *scară numerică*; cu alte cuvinte, o scară numerică este un raport al cărui numărător este unitatea, iar numitorul este un număr care arată de câte ori lungimile de pe hartă sunt mai mici decât cele corespunzătoare din zona reprezentată.

Scara numerică dă posibilitatea de a se calcula lungimea de pe teren corespunzătoare unei lungimi de pe hartă și invers, printr-o regulă de trei simplă. Astfel, dacă în hartă la scara menționată mai sus de $\frac{1}{50\,000}$, între două puncte se măsoară de exemplu lungimea de 10 mm, înseamnă că pe teren aceste două puncte sunt separate de distanța de 10 mm × 50 000 = 500 000 mm = 500 m.

Din punct de vedere al scării se disting:

– *hărți la scară mare*, al căror raport de reducere între lungimile de pe hartă și cele corespunzătoare de pe teren este mare (numitorul scării numerice este mic). Acestea sunt hărți complete, care conțin particularitățile zonei reprezentate; de exemplu, o hartă marină la scara de $\frac{1}{5\,000}$ este o hartă la scară mare;

– *hărți la scară mică*, care reprezintă zone întinse de pe Pământ, conținând numai datele principalele ale zonei. De exemplu, o hartă marină la scara de $\frac{1}{4\,500\,000}$ este o hartă la scară mică.

În hărțile la scară mare, cum sunt planurile porturilor și radelor, în rândul hărților marine, se obișnuiește ca scara să fie redată grafic. Scara grafică se prezintă sub forma unei drepte împărțită în segmente egale, deasupra căreia se înscriu cifrele care indică lungimile reale corespunzătoare de pe teren, exprimate în mile marine.

Harta marină redă imaginea zonei de navigație, cu toate detaliile și particularitățile care interesează conducerea navei. Pentru satisfacerea cerințelor navigației, harta trebuie să fie completă și recentă, adică să conțină toate detaliile zonei de navigație care interesează conducerea navei și să fie ținută la zi cu toate schimbările care survin: apariția unor bancuri de nisip sau alte pericole de navigație (epave, obstrucții etc.), repere noi de navigație instalate la coastă etc. Caracterul și volumul detaliilor pe care le conține o hartă marină sunt în funcție de particularitățile zonei respective din punct de vedere al navigației și de importanța pe care o prezintă pentru traficul maritim.

Aceste considerente determină în cele din urmă și scara la care harta trebuie întocmită; astfel o strâmtoare sau o zonă costieră dificilă din punct de vedere al navigației și expusă unui trafic intens va fi reprezentată la o scară mare, astfel ca să poată oferi un conținut bogat, cu toate detaliile necesare navigației.

§2 Loxodroma şi ortodroma. Definire

Guvernarea navei între două puncte de pe suprafaţa Pământului, aşa cum s-a arătat la capitolele 3 şi 4, se asigură menţinând drumul compas corespunzător drumului adevărat ce leagă cele două puncte.

Considerând că drumul navei se menţine constant, se deduce natura geometrică a traiectoriei descrise de navă pe suprafaţa Pământului în deplasarea ei de la un punct la altul: *o linie care taie toate meridianele sub acelaşi unghi. Curba de pe suprafaţa Pământului care taie toate meridianele sub acelaşi unghi se numeşte loxodromă.*

Faţă de cele arătate, drumul adevărat al navei mai poate fi definit deci ca unghiul constant format între loxodroma parcursă de navă şi meridianele interesectate. De aceea, drumul urmat de navă în deplasarea ei de la un punct la altul pe sfera terestră mai este denumit şi *drum loxodromic.*

Navigaţia efectuată de navă de-a lungul unei loxodrome este denumită *navigaţie loxodromică.*

Aşa după cum se arată la cap. 34, § 2, lungimea loxodromei care leagă două puncte de pe suprafaţa terestră nu reprezintă distanţa cea mai scurtă. Distanţa cea mai scurtă între două puncte pe sfera terestră este arcul de cerc mare.

Arcul de cerc mare care uneşte două puncte de pe suprafaţa sferei terestre se numeşte ortodromă. Studiul ortodromei, din capitolul menţionat mai sus, conduce la concluzia că ortodroma taie meridianele sub unghiuri diferite, cu excepţia cazurilor când aceasta se confundă cu ecuatorul sau cu meridianele.

Deşi loxodroma nu reprezintă drumul cel mai scurt dintre două puncte de pe suprafaţa Pământului, totuşi navigaţia nu este posibilă practic decât pe loxodromă, fapt impus de modul de guvernare a navei, care se face menţinând un drum constant cu ajutorul compasului.

Cazuri particulare ale loxodromei sunt generate în drumurile de 0°, 180°, 90° şi 270°, când nava se deplasează de-a lungul unui meridian, paralel sau pe ecuator.

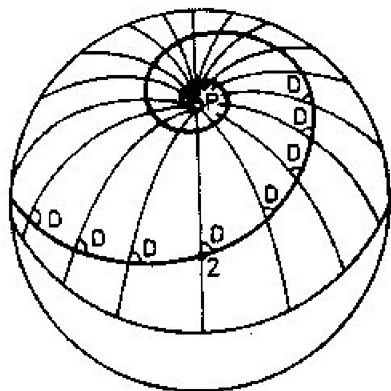


Fig. 7-1

Considerând loxodroma ce trece printr-un punct *Z* (fig. 7-1) şi care taie meridianul punctului respectiv într-un unghi oarecare *D*, diferit de 0°, 90°, 180° şi 270° – prelungită la infinit, aceasta se apropie de cei doi poli tereştri în formă de spirală, fără a-i atinge. Drumul care permite atingerea polilor tereştri, în mod teoretic, este cel de 0° sau 180°, când s-ar naviga pe meridian.

Când distanța între punctul de plecare și punctul de sosire este relativ redusă, cum este de exemplu în cazul navigației în Marea Neagră, Marea Mediterană sau Marea Roșie, diferența dintre *distanța loxodromică* și *distanța ortodromică* este practic neînsemnată.

Dacă însă, distanța dintre punctul de plecare și cel de sosire este mare și punctele se află la o mare diferență de longitudine, cum este în cazul traversadelor oceanice, diferența dintre distanța loxodromică și cea ortodromică poate fi considerabilă; în acest caz, dacă factori de ordin hidrometeorologic nu impun altfel, pentru a reduce distanța de parcurs, se navigă pe loxodrome scurte ce leagă puncte intermediare ale ortodromei; acest mod de a naviga între două puncte aflate la mare distanță se numește *navigație ortodromică*. Navigația de-a lungul ortodromei nu este practic posibilă, doarece ar impune o schimbare continuă a drumului navei.

Loxodroma constituie obiectul de studiu al părții a II-a, „Navigația estimată"; ortodroma este studiată la capitolul 34. Elementele de mai sus privind loxodroma și ortodroma au fost prezentate în măsura necesară înțelegerii problemelor care se expun în continuare în legătură cu hărțile marine.

§3 Lungimea arcului de paralel pe sfera terestră. Deplasarea est-vest

Pe sfera terestră, lungimea arcului de meridian de 1′ este constantă și egală cu 1852 m. Lungimea arcului de paralel variază însă cu latitudinea.

Pentru a ilustra acest fapt, considerăm că o navă se deplasează din punctul A în punctul B, de-a lungul arcului de paralel care le unește (fig. 7-2). Notăm cu A' și B' intersecțiile meridianelor celor două locuri cu ecuatorul terestru, r raza paralelului de latitudine φ, R raza sferei terestre și $\Delta\lambda$ arcul de ecuator cuprins între cele două meridiane (= diferența de longitudine).

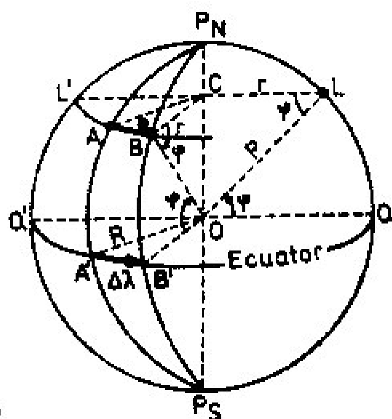


Fig. 7-2

Se știe că într-un sistem polar pe sferă, raportul arcelor cercurilor paralele cuprinse între două cercuri polare este proporțional cu raportul razelor cercurilor paralele respective; deci:

$$\frac{AB}{A'B'} = \frac{r}{R} \quad \text{sau} \quad \frac{AB}{\Delta\lambda} = \frac{r}{R} \tag{7-1}$$

În triunghiul $CBO = CLO$, dreptunghic în C, se poate scrie:

$$r = R \cos \varphi \qquad (7\text{-}2)$$

Introducând valoarea lui r (din relaţia 7-2) în proporţia (7-1) se obţine lungimea arcului AB:

$$AB = \Delta\lambda \cos \varphi \qquad (7\text{-}3)$$

Pe sfera terestră deci, *lungimea arcului de paralel cuprins între două meridiane scade cu cosinusul latitudinii*. Lungimea arcului de paralel de 1′ variază între 1852 m, la ecuator, ca minut de arc de cerc mare şi zero, la poli.

În navigaţie, arcul de paralel AB parcurs de navă se numeşte *deplasare est-vest* şi se notează cu e. Rezultă că dacă nava se deplasează de-a lungul unui paralel şi se cunosc coordonatele punctului de plecare A şi de sosire B – latitudinea fiind aceeaşi, *deplasarea est-vest* se calculează din relaţia:

$$e = \Delta\lambda \cos \varphi \qquad (7\text{-}3')$$

Deplasarea est-vest se exprimă în mile marine; în rezolvarea formulei (7-3′) pentru obţinerea deplasării est-vest, în mile marine, $\Delta\lambda$ se exprimă în minute de arc.

Cunoscându-se deplasarea est-vest în mile marine şi latitudinea paralelului, diferenţa de longitudine a punctelor de plecare şi sosire în minutele de arc se obţine:

$$\Delta\lambda = e \sec \varphi \ (7\text{-}4)$$

§4 Proprietăţile care se cer unei hărţi marine

Harta marină serveşte pentru rezolvarea grafică a unei serii de probleme, în scopul determinării poziţiei navei şi stabilirii drumului pe care nava trebuie să-l urmeze. Pentru a putea fi folosită în acest scop, harta marină trebuie să îndeplinească anumite proprietăţi, între care cele principale se dau în cele ce urmează.

1 – *Harta să permită stabilirea coordonatelor geografice ale unui punct oarecare cu uşurinţă şi precizie*. Satisfacerea acestei proprietăţi asigură posibilitatea fixării unui punct pe hată – prin coordonatele lui geografice sau scoaterea coordonatelor unui punct de pe hartă, problemă care se pune în mod frecvent în navigaţie. Pentru o rezolvare cât mai comodă a acestor probleme, în lucrul pe hartă este necesar ca reţeaua cartografică să apară sub forma unui sistem de axe ortogonale, deci meridianele şi paralelele să apară ca linii drepte reciproc perpendiculare.

2 – *Loxodroma să apară pe hartă în linie dreaptă*. O navă care guvernează după compas un drum constant, taie toate meridianele sub acelaşi unghi (egal cu drumul navei), descriind pe suprafaţa sferei terestre o loxodromă. În rezolvarea practică pe hartă a problemelor legate de drumul urmat de navă pe mare este necesar ca loxodroma să apară în linie dreaptă. Pentru ca loxodroma să apară însă în linie dreaptă pe hartă trebuie ca reţeaua cartografică să asigure reprezentarea meridianelor ca drepte paralele între ele şi harta să fie conformă; în acest caz, loxodroma apare ca o secantă care taie o serie de drepte paralele, drumul navei pe hartă reprezentând un unghi corespondent.

Pentru cazul particular când loxodroma se confundă cu un meridian, cu un paralel de latitudine sau cu ecuatorul, această condiție impune deci ca meridianele, paralele și ecuatorul să apară pe hartă ca linii drepte.

3 – *Harta să fie conformă.* Relevmentele utilizate pentru determinarea punctului navei sunt unghiuri în raport cu direcția nord; de asemenea, poziția navei se detemină prin metode care presupun măsurarea de unghiuri orizontale și transpunerea acestora pe hartă. Pentru ca harta să fie utilizabilă în rezolvarea problemelor de determinare a punctului navei, trebuie ca unghiurile trasate pe hartă să fie egale cu unghiurile corespunzătoare de pe teren, deci ca harta să fie conformă.

4 – *Harta să permită măsurarea distanțelor cu ușurință și precizie.* Măsurarea distanțelor pe hartă este necesară în rezolvarea problemelor de determinare a punctului navei, dublarea reperelor de navigație etc. Harta trebuie să ofere o scară a distanțelor care să permită măsurarea distanțelor comod și precis.

În concluzie, proprietățile arătate, pe care trebuie să le îndeplinească harta marină, solicită următoarea formă a rețelei cartografice:

– ecuatorul, meridianele și paralelele să apară ca linii drepte;

– meridianele să fie paralele între el și perpendiculare pe paralele;

– paralele de latitudine să fie paralele cu ecuatorul.

Harta marină care îndeplinește condițiile arătate a fost realizată în anul 1569 de către geograful flamand Gerhard Krämer, cunoscul sub numele de Mercator; harta concepută de el este cunoscută sub numele de harta Mercator. Harta în proiecție Mercator prezintă avantaje evidente în rezolvarea problemelor de navigație; de aceea, ea are o întrebuințare generală la bordul navelor maritime.

În condițiile speciale, pentru uzul navigației se mai folosesc următoarele hărți:

– hărți gnomonice, pentru navigația ortodromică, navigația radiogoniometrică și navigația în zone costiere folosind planuri la scări în general mai mari de 1/50 000;

– hărți stereografice, pentru navigația în regiunile polare.

§5 Harta Mercator

1 Proiecția centralo-cilindrică dreaptă

Harta Mercator este obținută prin transformarea proiecției centralo-cilindrice drepte, pe baza unor relații matematice, în scopul de a o face să răspundă condițiilor fundamentale cerute unei hărți marine (§ 4).

În acest sistem, proiecția se execută pe un cilindru imaginar care tangentează sfera terestră după linia ecuatorului sau este secant după două paralele de latitudine egală și de semne contrarii, axa cilindrului confundându-se cu axa Pământului; în executarea proiecției, ochiul observatorului se consideră în centrul pământului (fig. 7-3). Cilindrul de proiecție se taie apoi după o generatoare și se desfășoară în plan.

Proiecția se numește *centrală* pentru că proiecția se efectuează din centrul Pămntului, *cilindrică*, fiindcă proiecția se face pe un cilindru și *dreaptă*, deoarece axa cilindrului se confundă cu axa polilor tereștri.

În această proiecție, rețeaua cartografică apare astfel:

a – ecuatorul, ca o linie dreaptă;

b – meridianele, ca linii drepte, paralele între ele, echidistante pentru o aceeași diferență de longitudine și perpendiculare pe ecuator. Pe sfera terestră, lungimea unui arc de paralel oarecare AA' de latitudine φA, scade cu cos φA; de exemplu, arcul de paralel AE:

$$AE = QH \cdot \cos \varphi A \quad \text{(relația 7-3)}$$

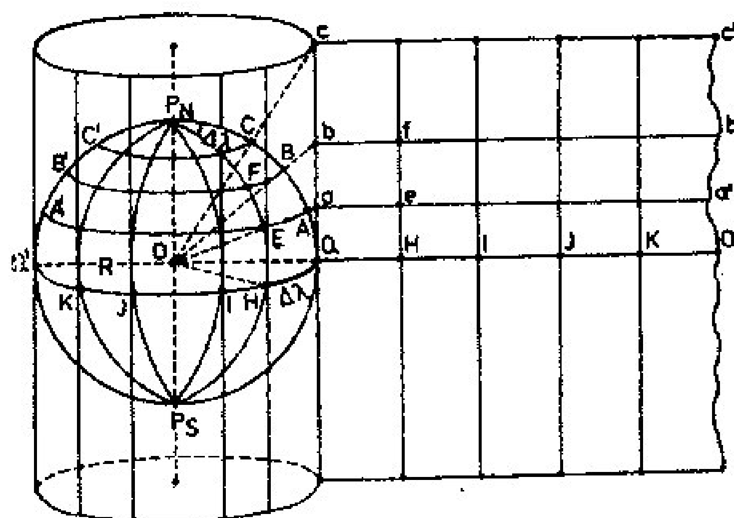


Fig. 7-3

În proiecție însă, segmentul *ae* care reprezintă proiecția arcului de paralel AE este egal cu segmentul QH, corespunzător diferenței de longitudine $\Delta\lambda$, deci:

$$ae = QH = AE \sec \varphi A \quad \text{(relația 7-4)}$$

Rezultă că *prin deformarea cauzată de proiecția centralo-cilindrică dreaptă, distanța de-a lungul paralelelor crește cu sec* φ.

c – paralele de latitudine apar ca linii drepte, paralele între ele și cu ecuatorul terestru și perpendiculare pe meridiane.

Pe sfera terestră, distanța *paralelelor* față de ecuator crește proporțional cu latitudinea, iar *paralele* între ele sunt echidistante pentru o aceeași diferență de latitudine.

În proiecție, paralelul AA' se proiectează pe dreapta aa', paralelă cu ecuatorul, la distanța:

$$Qa = R \text{ tg } \varphi A,$$

iar paralelul BB', pe dreapta bb', paralelă cu ecuatorul, la distanța:

$$Qb = R \text{ tg } \varphi B,$$

Distanța *ab* de-a lungul meridanului P_NBAQ, cuprinsă între paralelele aa' și bb' este exprimată de relația:

$$ab = Qb - Qa = \text{R} (\text{tg } \varphi B - \text{tg } \varphi A).$$

Relațiile de mai sus arată că în proiecția centralo-cilindrică dreaptă:

– paralele de latitudine se depărtează față de ecuator proporțional cu tg φ; *cu alte cuvinte distanțele de-a lungul meridianelor cresc proporțional cu tg φ*;

– la aceeași diferență de latitudine, distanța dintre paralele crește cu diferența tangentelor latitudinilor lor;

– polii geografici ($\varphi = \pm 90°$) nu pot fi reprezentați în proiecție ($\text{tg}\, \varphi = \infty$)

Rezultă că în *proiecția centralo-cilindrică dreaptă, distanțele de-a lungul paralelelor cresc proporțional cu sec φ, iar de-a lungul meridianelor proporțional cu tgφ*. Deformațiile în cele două sensuri nefiind proporționale, determină neasemănarea figurilor de pe Pământ cu cele reprezentate, deci *proiecția centralo-cilindrică dreaptă nu este conformă.*

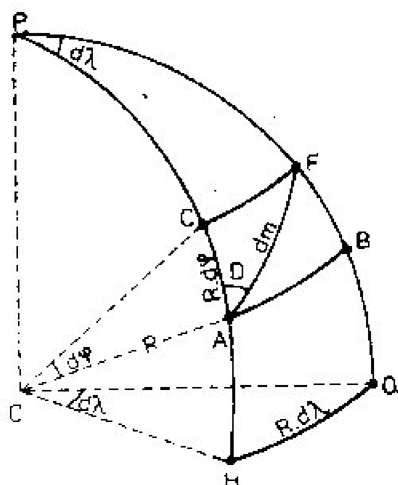


Fig. 7-4 a

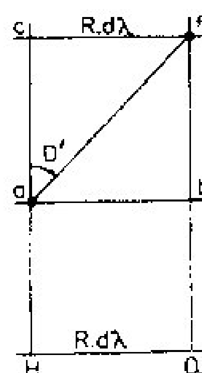


Fig. 7-4 b

Pentru a vedea cum apare drumul loxodromic în proiecția centralo-cilindrică dreaptă, considerăm loxodroma *AF* care leagă punctele infinit apropiate *A* și *F* (fig. 7-4 a) de pe sfera terestră și proiecția ei *af* (fig. 7-4 *b*); raza sferei terestre este *R*.

Punctele *A* și *F* fiind infinit apropiate, triunghiul sferic *ACF* poate fi considerat infinit mai mic, determinat de elementele:

– $AF = dm$ = arc loxodromic infinit mic;

– *AC*, arc de meridian infinit mic, cuprins între paralelele de latitudine ale punctele *A* și *F*, separate de diferența de latitudine dφ. Raza sferei terestre fiind *R*, mărimea arcului $AC = R \cdot d\varphi$;

– $CF = R \cdot d\lambda \cdot \cos\varphi$ = arcul paralelului φ separat de meridianele punctelor A și F, infinit apropiate;

– *D* = drumul navei, determinat de loxodroma *AF* și meridianul *PA*.

În aceste condiții, triunghiul *ACF*, dreptunghic în *C*, poate fi considerat plan, în care drumul navei este exprimat de relația:

$$\text{tg}\, D = \frac{CF}{AC} = \frac{R \cdot d\lambda \cdot \cos\varphi}{R \cdot d\varphi} = \frac{d\lambda \cdot \cos\varphi}{d\varphi} \qquad (7\text{-}5)$$

Triunghiul *acf* (fig. 7-4 *b*) reprezentând în proiecție triunghiul *ACF* este un triunghi plan, dreptunghic în *c*, infinit mic, în care $ac = R \cdot d\ tg\ \varphi$, $cf = R \cdot d\lambda$, iar *af* = proiecția arcului loxodromic infinit mic *AF* . Unghiul *D'* este proiecția drumului navei de pe sfera terestră, exprimat de relația:

$$tg\ D' = \frac{cf}{ac} = \frac{R \cdot d\lambda}{R \cdot d\ tg\ \varphi} = \frac{d\lambda}{\frac{d\varphi}{\cos^2\varphi}} = \frac{d\lambda \cos^2\varphi}{d\varphi}$$

expresie în care introducând ecuația (7-5), se obține:

$$tg\ D' = tg\ D \cos\varphi \qquad (7\text{-}6)$$

Egalitatea (7-6) arată că în proiecția centralo-cilindrică dreaptă drumul navei (= drumul loxodromic) scade cu cos φ, devenind zero în polii tereștri. Constituie excepții cazurile drumurilor navei de 0° (180°), când $D' = D = 0$ (deoarece $tg\ D' = tg\ D = 0$) și de 90° (270°), când $D' = D = 90°$ (deoarece $tg\ D' = tg\ D = \infty$); cu alte cuvinte, în proiecție se mențin doar unghiurile drepte formate între meridiane și paralele, așa după cum dealtfel rezultă în mod evident și din construcția gerometrică a rețelei cartografice.

Pentru a exemplifica cele arătate mai sus, vom calcula proiecțiile drumurilor de 25° și 50° la latitudinile de 30° și 65°.

Rezolvare:

		$D = 25°$	$D = 50°$
	$\log tg\ D$	= 9.66867 ...	= 0.07619
$\varphi = 30°$ ...	$\log \cos\varphi$	= 9.93753 ...	= 9.93753
	$\log tg\ D'$	= 9.60620 ...	= 0.01372
	D'	= 21°59'	D' = 45°54'

		$D = 25°$	$D = 50°$
	$\log tg\ D$	= 9.66867 ...	= 0.07619
$\varphi = 65°$ ...	$\log \cos\varphi$	= 9.62595 ...	= 9.62595
	$\log tg\ D'$	= 9.29462 ...	= 9.70214
	D'	= 11°09'	D' = 26°44'

Unghiul *D'* scăzând cu cos φ, înseamnă că loxodroma nu poate fi reprezentată în proiecție ca o linie dreaptă; o analiză mai aprofundată demonstrează că în proiecția centralo– cilindrică dreaptă, loxodroma apare ca o curbă având concavitatea spre poli. Excepții sunt cazurile când drumul navei este 0°, 90°, 180° și 270°, situații în care loxodroma apare ca o dreaptă ce se confundă cu un meridian, un paralel sau cu ecuatorul.

În concluzie, proiecția centralo-cilindrică dreaptă nu satisface două proprietăți fundamentale impuse hărților marine: *proiecția nu este conformă și loxodroma nu apare în linie dreaptă.*

Această fapt face ca proiecția centralo-cilindrică dreaptă, în forma ei primară, să nu fie utilizabilă în navigație. Marele merit al lui Mercator constă în tranformarea proiecției centralo-cilindrice drepte *neconforme*, într-o proiecție centralo-cilindrică dreaptă *conformă*, cunoscută sub numele de *proiecția Mercator.*

2 Proiecţia Mercator

În scopul transformării proiecţiei centralo-cilindrice drepte neconforme într-o proiecţie conformă, Mercator a procedat în principiu astfel:

– a lăsat meridianele în poziţia în care apar în reţeaua cartografică a proiecţiei centralo-cilindrice drepte (fig. 7-3), distanţele de-a lungul paralelelor crescând deci proporţional cu sec φ;

-a calculat poziţia paralelelor în raport cu ecuatorul astfel ca, în noua reţea cartografică distanţa de la ecuator la un paralel de latitudine oarecare φ să crească de asemenea proporţional cu sec φ.

Cu alte cuvinte, în proiecţia Mercator, deformaţiile de-a lungul meridianelor şi paralelelor sunt proporţionale cu o aceeaşi mărime, sec φ, condiţie esenţială a conformităţii hărţii.

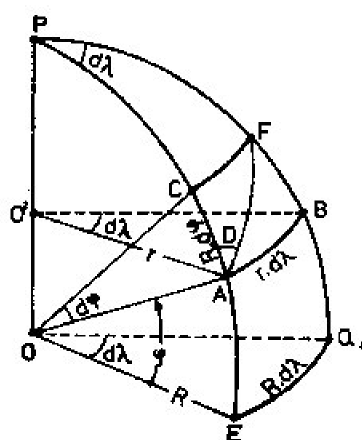


Fig. 7-5 a

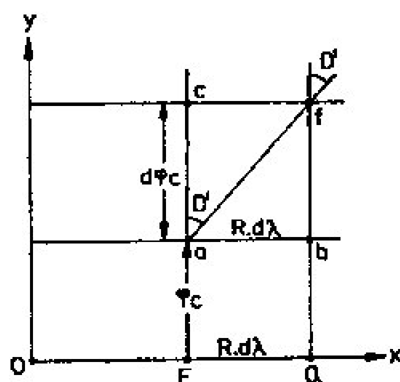


Fig. 7-5 b

Pentru a stabili relaţia care exprimă distanţa de la ecuator la un paralel de latitudine oarecare φ în proiecţia Mercator, se consideră pe sfera terestră suprafaţa infinit mică *ABCF*, delimitată de două meridiane şi două paralele infinit apropiate (fig. 7-5 *a*), care se proiectează pe un cilindru tangent după linia ecuatorului. Elementele care determină figura *ABCF* sunt:

– *AB*, arcul paralelului de latitudine φ şi rază *r* , cuprins între meridianele *PE* şi *PQ*, infinit apropiate, separate de diferenţa de longitudine *d*λ. Arcul AB = $r \cdot d\lambda$;

– $AC = BF$, arce de meridian infinit mici, cuprinse între aceleaşi paralele, separate de diferenţa de latitudine dφ. Raza Pământului fiind *R*, mărimea arcului $AC = BF = R \cdot d\varphi$.

Desfăşurând cilindrul de proiecţie în plan se obţine figura *abcf*, de forma unui dreptunghi (fig. 7-5 *b*), reprezentând proiecţia figurii *ABCF* de pe suprafaţa terestră.

Elementele dreptunghiului *abcf* sunt:

– *ab*, segmentul paralelului de latitudine φ, egal în proiecţie cu segmentul de ecuator cuprins între aceleaşi meridiane, a cărui mărime $EQ = R \cdot d\lambda = ab$;

– *ac* şi *bf*, care sunt creşteri infinit mici ale distanţei *Ea* şi, respectiv, *Qb*, de la ecuator la paralelul de latitudine φ. În proiecţie, distanţa de la ecuator la paralelul de latitudine φ se notează φc, iar creşterile infinit mici $ac = bf$ cu $d\varphi c$.

Pentru ca proiecţia să fie conformă, trebuie să se asigure asemănarea figurilor; asemănarea figurilor este condiţionată de proporţionalitatea laturilor omoloage, deci proiecţia trebuie să satisfacă proporţia:

$$\frac{AB}{ab}=\frac{AC}{ac} \tag{7-7}$$

Însă:

$$\frac{AB}{ab}=\frac{r\cdot d\lambda}{R\cdot d\lambda} \text{ şi } \frac{AC}{ac}=\frac{R\cdot d\varphi}{d\varphi c}$$

deci:

$$\frac{r\cdot d\lambda}{R\cdot d\lambda}=\frac{R\cdot d\,\varphi}{d\varphi c}$$

Ştiind că $r = R\cos\varphi$ (ecuaţia 7-2) se poate scrie:

$$\frac{R\cos\varphi\cdot d\lambda}{R\cdot d\lambda}=\frac{R\cdot d\,\varphi}{d\varphi c}$$

de unde:

$$d\varphi c=R\frac{d\varphi}{\cos\varphi} \tag{7-8}$$

Pentru a stabili relaţia care exprimă în proiecţie distanţa φc de la ecuator la paralelul de latitudine φ, se integrează ecuaţia diferenţială (7-8) în limitele de la $\varphi c_1 = 0$ la $\varphi c_2 = \varphi c$ şi de la $\varphi_1 = 0$ la $\varphi_2 = \varphi$, astfel:

$$\int_0^{\varphi} c\, d\varphi c=R\int_0^{\varphi}\frac{d\varphi}{\cos\varphi} \tag{7-9}$$

Transformând şi integrând expresia (7-9), se obţine:*

$$\varphi c=R\ln \text{tg}\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi}{2}\right) \tag{7-10}$$

---

* Transformarea expresiei $\frac{d\varphi}{\cos\varphi}$ din relaţia (7-9) pentru a obţine pe (7-10) se face astfel:

$$\frac{d\varphi}{\cos\varphi}=\frac{d\varphi}{\sin\left(\frac{\pi}{2}+\varphi\right)}=\frac{d\varphi}{2\sin\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi}{2}\right)\cos\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi}{2}\right)}=\frac{\dfrac{\frac{d\varphi}{2}}{\cos^2\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi}{2}\right)}}{\dfrac{\sin\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi}{2}\right)\cos\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi}{2}\right)}{\cos^2\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi}{2}\right)}}=\frac{d\left[\text{tg}\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi}{2}\right)\right]}{\text{tg}\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi}{2}\right)}.$$

Integrând ultima expresie de mai sus, se obţine:

$$\int\frac{d\left[tg\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi}{2}\right)\right]}{tg\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi}{2}\right)}=\ln\text{tg}\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi}{2}\right)+C.$$

Ecuația (7-10) exprimă distanța φc de la ecuator la un paralel de latitudine oarecare φ în proiecție Mercator, care este cunoscută sub numele de *latitudine crescândă*. Trasând paralele de latitudine la distanța φc de ecuator, dată de expresia (7-10), proiecția Mercator satisface proporția (7-7), deci proiecția este conformă.

Raportul:

$$\frac{ac}{AC} = \frac{\mathrm{d}\,\varphi\, c}{R\mathrm{d}\varphi} = \frac{R\dfrac{\mathrm{d}\,\varphi}{\cos\varphi}}{R\mathrm{d}\varphi} = \frac{1}{\cos\varphi} = \sec\varphi \qquad (7\text{-}11)$$

arată că, în proiecția Mercator distanțele de-a lungul meridianelor cresc proporțional cu sec φ, la fel cu creșterea distanțelor de-a lungul paralelelor în proiecția centralo-cilindrică dreaptă neconformă.

Pentru a vedea cum apare drumul loxodromic în proiecția Mercator, considerăm pe sfera terestră fig. (7-5a) arcul loxodromic AF, ce formează unghiul D (= drumul navei) cu meridianul PA; arcul loxodromic în proiecția Mercator, considerăm pe sfera terestră (fig. 7-5*a*) arcul loxodromic AF pe sfera terestră este reprezentat de segmentul infinit mic *af* (fig. 7-5 *b*) în proiecție Mercator, formând cu meridianul unghiul D'.

Pe sfera terestră, unghiul D este exprimat de relația (7-5):

$$\mathrm{tg}\, D = \frac{\mathrm{d}\lambda \cdot \cos\varphi}{\mathrm{d}\varphi}$$

În proiecția Mercator, unghiul D' este dat de relația:

$$\mathrm{tg}\, D' = \frac{\mathrm{cf}}{ca} = \frac{R\cdot \mathrm{d}\lambda}{\mathrm{d}\varphi c} = \frac{R\cdot \mathrm{d}\lambda}{R\dfrac{\mathrm{d}\varphi}{\cos\varphi}} = \frac{\mathrm{d}\lambda\cdot\cos\varphi}{\mathrm{d}\varphi} \qquad (7\text{-}12)$$

Rezultă că $D' = D$, deci *drumurile loxodromice din proiecția Mercator sunt egale cu cele corespunzătoare de pe sfera terestră.* În proiecția Mercator meridianele apărând ca drepte paralele și echidistante, *loxodroma este reprezentată ca o linie dreaptă tăind meridianele sub unghiuri egale cu drumul navei D*; cu alte cuvinte, loxodroma apare ca o dreaptă secantă ce taie meridianele sub unghiuri egale cu drumul navei (D în acest caz este un unghi corespondent).

În concluzie, proiecția Mercator îndeplinește cele două proprietăți fundamentale ale unei hărți marine: este conformă și loxodroma apare ca o dreaptă, drumul loxodromic menținându-se același cu cel de pe sfera terestră.

3 Elipsoidul terestru în proiecție Mercator

În analiza noastră anterioară, Pământul a fost considerat de formă sferică, ipoteză care satisface nevoile curente ale navigației. În scopul obținerii unei precizii mărite la întocmirea hărților marine, în *hidrografie*, Pământul se consideră de forma unui elipsoid de revoluție.

În cazul elipsoidului terestru, având semiaxa mare a și excentricitatea e, latitudinea crescândă este dată de expresia:

$$\varphi c = a \ \ln \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi}{2}\right)\left(\frac{1-e \sin \varphi}{1+e \sin \varphi}\right)^{\frac{e}{2}} \qquad (7\text{-}13)$$

care se exprimă în unități egale cu lungimea unui minut de ecuator terestru, numit *milă ecuatorială*.

După dimensiunile *elipsoidului Krasovski* (în funcție de care este calculată *tabla 26* din *Tablele Nautice MT-53*, folosită pentru calculul latitudinilor crescânde), lungimea arcului de ecuator terestru de un minut (l) este:

$$l = a \cdot \text{arc } 1' = 1855 \cdot 39 \text{ m} = 1 \text{ milă ecuatorială (Me)}$$

Pentru a obține latitudinea crescândă în mile ecuatoriale, semiaxa mare a elipsoidului terestru trebuie exprimată în aceeași unitate de măsură, iar logaritmii naturali trebuie să fie transformați în logaritmi zecimali:

– lungimea semiaxei mari a elipsoidului terestru, în mile ecuatoriale, este:

$$a = \frac{l}{arc\ 1'} = 3437 \cdot 7468 \ \text{mile ecuatoriale;}$$

– logaritmii naturali se transformă în logaritmi zecimali cu ajutorul modulului M:

$$\ln A = \frac{1}{M} \log A$$

unde: $M = 0.4342945$

Înlocuind în egalitatea (7-13) se obține expresia care dă latitudinea crescândă φc în mile ecuatoriale:

$$\varphi c = \frac{l}{arc\ 1'} \cdot \frac{1}{M} \log \ tg \left(\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi}{2}\right)\left(\frac{1-e \sin \varphi}{1+e \sin \varphi}\right)^{\frac{e}{2}}$$

sau:

$$\varphi c = \frac{3437.7468}{0.4342945} \log \ \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi}{2}\right)\left(\frac{1-e \sin \varphi}{1+e \sin \varphi}\right)^{\frac{e}{2}}$$

de unde:

$$\varphi c = \ 7915'.70447 \ \log \ \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi}{2}\right)\left(\frac{1-e \sin \varphi}{1+e \sin \varphi}\right)^{\frac{e}{2}} \qquad (7\text{-}14)$$

Expresia (7-14) stă la baza întocmirii *tablei 26* din *Tablele Nautice MT-53* care dă latitudinea crescândă în funcție de latitudinea geografică.

Utilizând dimensiunile *elipsoidului internațional*, formula ce exprimă latitudinea crescândă este următoarea:

$$\varphi c = \ 7915'.704674 \ \log \ tg \left(\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi}{2}\right)\left(\frac{1-e \sin \varphi}{1+e \sin \varphi}\right)^{\frac{e}{2}} \qquad (7\text{-}15)$$

care stă la baza întocmirii a o serie de table nautice folosite la bordul navelor noastre, între care menționăm: NORIE'S, TAVOLE NAUTICHE etc.

Din comparația egalităților (7-14) și (7-15) se observă că diferențele care rezultă din calcularea latitudinilor crescânde ca urmare a folosirii dimensiunilor elipsoidului Krasovski sau ale celui internațional sunt neglijabile.

Latitudinea crescândă prezintă importanță practică în întocmirea rețelei cartografice a hărților marine; denumirea de latitudine crescândă derivă de la faptul că, în proiecție, lungimea unei diviziuni care reprezintă 1′ de latitudine crește de la ecuator spre poli proporțional cu sec φ.

În proiecția Mercator, distanța măsurată pe meridian între două paralele se numește *diferență de latitudine crescândă* (Δφc). Diferența de latitudine crescândă se exprimă în mile ecuatoriale și se calculează făcând diferența dintre latitudinile crescânde ale punctelor considerate, după relația:

$$\Delta\varphi c = \Delta\varphi c_2 \pm \varphi c_1$$

în care, semnul minus se aplică pentru latitudini de același semn și semnul plus, pentru latitudini de semne contrarii. În cazul unor latitudini de același semn, φc_2 este latitudinea crescândă superioară și φc_1 cea inferioară.

Exemplul 1. Se cere diferența de latitudine crescândă între paralele de latitudine $\varphi_1 = +48°28'$ și $\varphi_2 = +56°32'$.

Rezolvare (cu ajutorul *tablei 26* din *Tablele nautice MT-53*)

$\varphi_2 = +56°32'$ .... $\varphi c_2 = 4112.3$
$\varphi_1 = +48°28'$ .... $\varphi c_1 = 3316.3$
$\Delta\varphi c = 796.0$ mile ecuatoriale.

Exemplul 2. Se cere diferența de latitudine crescândă între paralele de latitudine $\varphi_1 = -4°16'$ și $\varphi_2 = +6°24'$.

Rezolvare:

$\varphi_1 = -4°16'$ .... $\varphi c_1 = 254.5$
$\varphi_2 = +6°24'$ .... $\varphi c_2 = 382.2$
$\Delta\varphi c = 636.7$ mile ecuatoriale

4 Măsurarea distanțelor pe harta Mercator. Scara distanțelor

Pentru măsurarea distanțelor pe harta Mercator se folosește *mila Mercator*, reprezentată de diferența de latitudine crescândă corespunzătoare diferenței de latitudine de un minut. *În proiecția Mercator mila Mercator reprezintă deci mărimea grafică a unui minut de meridian la o latitudine oarecare.* Mila Mercator nu are o mărime constantă, ci crește proporțional cu sec φ, fapt ilustrat de expresia (7-11). Considerând l = lungimea grafică a unui arc de ecuator de un minut, lungimea grafică a unui minut de meridian (l' = mila Mercator), la latitudinea φ, în proiecția Mercator este dată de relația:

$$l' = \frac{l}{\cos\varphi} = l \sec\varphi \qquad (7\text{-}16)$$

Pentru a se uşura măsurarea distanţelor în practica lucrului pe hartă, hărţile Mercator conţin *scara grafică a latitudinilor crescânde*, reprezentată printr-o împărţire grafică a meridianelor limită ale hărţii respective, în mile Mercator; scara grafică a latitudinilor crescânde sau cum i se spune în mod obişnuit "scara latitudinilor", poate servi atât ca scară pentru determinarea latitudinilor, cât şi scara grafică pentru măsurarea distanţelor.

Relaţia (7-16) arată că scara distanţelor în hărţile Mercator este o scartă neuniformă, variaţia ei fiind cu atât mai mare, cu cât latitudinea este mai mare, deoarece variaţia secantei este lentă pentru unghiuri mici şi foarte mare pentru unghiuri care se apropie de 90°. Pe hărţile de navigaţie în proiecţie Mercator la scară mare, care reprezintă zone limitate, la latitudini care nu depăşesc latitudinea de 60°, variaţia scării latitudinilor pe aceeaşi hartă poate fi considerată practic neînsemnată.

Totuşi, pentru navigator trebuie să rămână ca regulă în practica măsurării distanţelor cu gheara de compas pe harta Mercator, de a raporta deschizătura acestuia, reprezentând distanţa dintre două puncte, pe acea parte a scării latitudinilor care se află între paralelele punctelor dintre care se măsoară distanţa. Această indicaţie este cu atât mai importantă, cu cât scara hărţii este mai mică, reprezentând o zonă extinsă maritimă sau oceanică şi cu cât latitudinea la care se navigă este mai mare.

5 Scara hărţii Mercator. Clasificarea hărţilor marine după scară

Cele arătate la punctul 4 arată că, scara unei hărţi Mercator, ca raport între lungimile din hartă şi distanţele corespunzătoare de pe suprafaţa Pământului, nu poate fi valabilă pentru întreaga zonă reprezentată, deoarece scara hărţii creşte proporţional cu sec φ, de la ecuator spre poli. De aceea, în întocmirea hărţilor marine în proiecţie Mercator, scara hărţii se stabileşte obişnuit pentru latitudinea medie a zonei reprezentate; paralelul pentru care se stabileşte scara unei hărţi Mercator se numeşte *paralel de referinţă*. Motive de ordin practic, cum ar fi de exemplu întocmirea a două hărţi Mercator pentru o anumită zonă, astfel ca ele să poată fi "asamblate", se pot face ca paralelul de referinţă să fie altul decât cel al latitudinii medii; în exemplul dat, paralelul de referinţă va trebui să fie acelaşi pentru ambele hărţi.

Pentru a stabili relaţia care leagă scara unei proiecţii Mercator la ecuator, faţă de scara în aceeaşi proiecţie la o latitudine φ, se consideră:

$$\frac{1}{Se} = \text{scara hărţii la ecuator;}$$

$$\frac{1}{S\varphi} = \text{scara hărţii de-a lungul paralelului de latitudine } \varphi$$

Cele două scări sunt legate prin relaţia:

$$\frac{1}{Se} = \frac{1}{S\varphi} \cdot \cos\varphi \text{ sau } \frac{1}{S\varphi} = \frac{1}{Se} \cdot \sec\varphi,$$

de unde:

$$S\varphi = Se \cdot \cos\varphi \;\text{ și }\; Se = S\varphi \cdot \sec\varphi \tag{7-17}$$

Relațiile (7-17) dau posibilitatea de a calcula scara hărții pentru un paralel de latitudine oarecare, dacă se cunoaște scara hărții la ecuator sau de a calcula scara pentru un anumit paralel, cunoscând scara hărții pentru paralelul de referință al zonei reprezentate.

Scara hărților marine variază după importanța pe care o prezintă zona maritimă sau oceanică, în funcție de traficul maritim și condițiile de navigație.

În funcție de mărimea scării, hărțile marine se clasifică astfel:

– *hărți oceanice*, care se întocmesc la scări în jur de 1/6 000 000, reprezentând zone oceanice cu o mare întindere; aceste hărți servesc pentru studiul drumului, la executarea traversadelor oceanice;

– *hărți generale de navigație*, la scări care variază între 1/4 500 000 și 1/600 000. Acestea sunt hărți care reprezintă zone maritime întinse; servesc la studiul drumului, iar cele la scară mai mare pot fi utilizate și pentru ținerea navigației la zi, la larg sau în apropierea coastelor lipsite de pericole de navigație;

– *hărți costiere speciale*, la scări cuprinse între 1/100 000 și 1/60 000. Ele reprezintă strâmtori, zone pentru accesul în porturi și în general, zone unde navigația este dificilă;

– *planuri*, la scări variind între 1/50 000 și 1/5 000 sau chiar până la 1/2 000, reprezentând rade și porturi.

Hărțile în proiecție Mercator se utilizează în mod obișnuit pentru reprezentări de zone la latitudini mai mici de 80°, la scări mai mici de 1/50 000. Planurile pentru uzul navigației la scări mai mari de 1/50 000 se întocmesc în general în proiecție gnomonică.

6 Construcția rețelei cartografice în proiecție Mercator

În practica navigației se pot ivi situații care să necesite construcția rețelei cartografice în proiecție Mercator. Pentru a putea stabili modul de construcție a rețelei cartografice, trebuie însușită mai întâi noțiunea de *modulul hărții*.

Modulul hărții (m) este lungimera grafică a unui arc de ecuator de 1′, exprimată în milimetri. Determinarea modulului hărții se face în funcție de scara hărții și de faptul dacă cilindrul de proiecție este tangent după linia ecuatorului sau secant după linia paralelului de referință pentru care este stabilită scara hărții.

Dacă proiecția se face pe un cilindru tangent la elipsoidul terestru după linia ecuatorului, modulul hărții se calculează după relația:

$$m = 1855.39 \times 1000 \times \frac{1}{Se}$$

unde 1855.39 reprezintă lungimea arcului de ecuator de 1′, în metri, iar $\frac{1}{Se}$ scara hărții la ecuator.

Dacă proiecția se face pe un cilindru secant la elipsoidul terestru după linia paralelului de referință de latitudine φ, modulul hărții se calculează după relația:

$$m = p \cdot \frac{1}{S\varphi},$$

în care:

$\frac{1}{S\varphi}$ = scara hărții de-a lungul paralelului de referință;

p = r · arc 1′= lungimea, în milimetri, a unui arc de un minut al paralelului de referință de latitudine φ; *r* reprezintă raza paralelului de referință de latitudine φ, care pentru elipsoidul terestru este exprimată de relația:

$$r = \frac{a \cdot \cos\varphi}{(1 - e^2 \sin^2\varphi)^{\frac{1}{2}}}$$

Mărimea *p* este redată în diferite table cartografice sau de navigație; astfel, tabla III din *Tavole Nautiche* conține lungimea, în metri, a arcului de 10′ de meridian și de paralel pentru diferite latitudini ale elipsoidului terestru. Obținând din tablă lungimea, în metri, a arcului de paralel de 10′, se poate stabili cu ușurință lungimea, în milimetri, a arcului de paralel de un minut, în funcție de latitudine; în continuare se dă un extras din *Tavole Nautiche* (Tabla III), a lungimii, în metri, a arcului de paralel de 10′, pentru latitudini cuprinse între 59°40′ și 60°20′:

Latitudinea	10′ de paralel (*m*)
59°40′	9393,8646...
60°00′	9300,4653...
60°20′	9206,7469...

În cele arătate pentru calculul modulului hărții, Pământul s-a considerat de forma unui elipsoid de revoluție. Considerând Pământul de formă sferică, în construcția de rețele cartografice a unor zone puțin extinse sau pentru rezolvarea unor probleme care nu solicită o precizie riguroasă, modulul hărții se calculează astfel:

– dacă cilindrul de proiecție este tangent la sfera terestră după linia ecuatorului:

$$m = 1852 \times 1000 \times \frac{1}{Se};$$

– dacă cilindrul de proiecție este secant la sfera terestră după paralelul de referință de latitudine φ:

$$m = 1852 \times \cos\varphi \times 1000 \times \frac{1}{S\varphi},$$

în care 1852 reprezintă lungimea unui arc de cerc mare de 1′ pe sfera terestră, iar $\frac{1}{Se}$ și $\frac{1}{S\varphi}$, la fel ca în considerațiile anterioare, scara hărții la ecuator și respectiv de-a lungul paralelului de referință de latitudine φ.

Cunoscându-se modul de determinare a modulului hărţii, construcţia reţelei cartografice în proiecţie Mercator pentru o anumită zonă se face astfel:

– se stabilesc meridianele şi paralelele limită ale zonei de reprezentat, scara proiecţiei şi paralelul de referinţă, care în general este acela al latitudinii medii;

– se calculează modulul hărţii (m);

– se stabilesc intervalele la care se trasează meridianele şi paralelele (din 30 în 30′, din 1 în 1° etc.);

– se calculează *lungimea cadrului hărţii* ($L\lambda$), adică lungimea grafică cuprinsă între meridianul de vest şi cel de est, care limitează zona de reprezentat, înmulţind modulul hărţii cu diferenţa de longitudine ($\Delta\lambda$) dintre cele două meridiane limită:

$$L\lambda = m \cdot \Delta\lambda$$

– se calculează lăţimea cadrului hărţii ($L\varphi$), adică mărimea grafică cuprinsă între paralele de latitudine care limitează zona de reprezentat. Lăţimea cadrului hărţii se obţine înmulţind modulul hărţii cu diferenţa de latitudine crescândă ($\Delta\varphi c$) a paralelelor care limitează zona de reprezentat:

$$L\varphi = m \cdot \Delta\varphi c$$

– se trasează cadrul hărţii cu ajutorul dimensiunilor ($L\lambda$ şi $L\varphi$) astfel calculate;

– se calculează lungimea grafică a intervalului $\Delta L\lambda$ care separă două meridiane alăturate din reţeaua cartografică. Scara grafică a longitudinilor fiind constantă în proiecţia Mercator, mărimea grafică a unui interval se obţine împărţind lungimea cadrului hărţii ($L\lambda$) la numărul intervalelor, în funcţie de numărul meridianelor pe care trebuie să-l conţină reţeaua cartografică;

– se calculează distanţa grafică dintre fiecare paralel în parte, pe care trebuie să-l conţină reţeaua cartografică, faţă de paralelul inferior sau superior al hărţii, după cum zona de reprezentat se află în emisfera nordică sau sudică. Distanţa grafică la care se află un paralel oarecare, în raport cu paralelul inferior sau superior al hărţii (în funcţie de emisfera în care este cuprinsă zona), se determină înmulţind modulul hărţii cu diferenţa de latitudine crescândă a celor două paralele.

Cunoscându-se aceste distanţe grafice, se trasează fiecare paralel în parte, completându-se astfel reţeaua cartografică a hărţii.

Exemplul 3. Să se construiască reţeaua cartografică în proiecţie Mercator a zonei din oceanul Atlantic cuprinsă între paralele $\varphi_1 = 0°$; $\varphi_2 = 30°N$ şi meridianele 20°W şi 60°W. Proiecţia se face pe un cilindru tangent la elipsoidul terestru după linia ecuatorului. Scara la ecuator = $\dfrac{1}{5\ 000\ 000}$. Să se traseze meridianele şi paralelele din 5 în 5°.

Rezolvare (fig. 7-6)

a – Calculul modulului hărţii (m)

$$m = 1855 \cdot 39 \times \frac{1}{Se} = \frac{1855 \cdot 39 \times 1\ 000}{5\ 000\ 000} = 0.3710 \text{ mm};$$

b) Calculul lungimii cadrului hărţii ($L\lambda$)

$\Delta\lambda = 60°\ W - 20°\ W = 40° \ldots \Delta\lambda = 40° \times 60' = 2\ 400'$

$L\lambda = m \cdot \Delta\lambda = 0.3710 \times 2\ 400' = 890.4$ mm;

c – Calculul lățimii hărții (Lφ).

$\varphi_2 = 30°$ N ... $\varphi c_2 = 1876.9$ ... *Tabla 26-MT 53*

$\varphi_1 = 0°$ ... $\varphi c_1 = 0.0$

$\Delta\varphi c = 1876.9$ mile ecuatoriale.

$L\varphi = m \cdot \Delta\varphi c = 0.3710 \times 1876.9 = 696.3$ mm.

Se trasează cadrul hărții cu dimensiunile determinate (L_λ și L_φ).

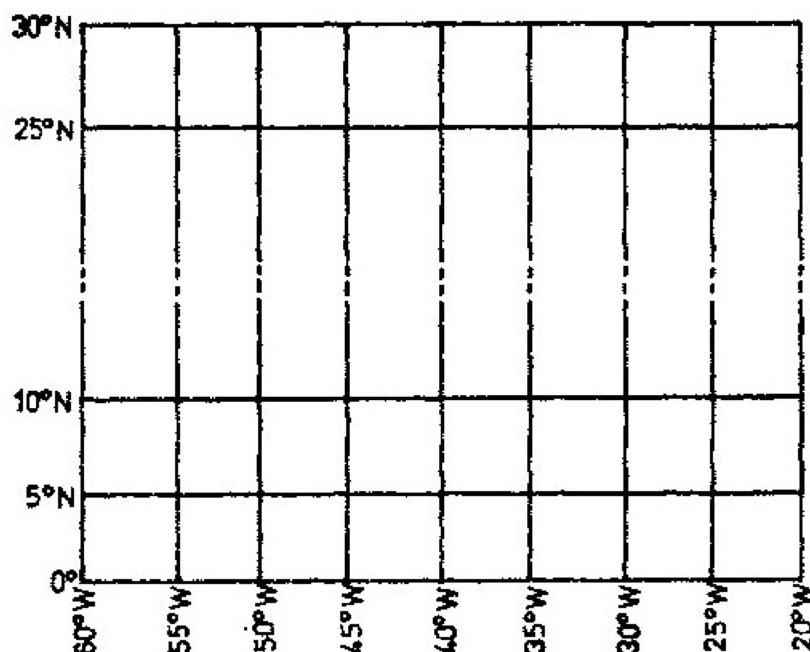


Fig. 7-6

d – Calculul lungimii grafice a intervalului dintre două meridiane alăturate (ΔL_λ)

Rețeaua cartografică trebuie să conțină meridianele zonei de reprezentat din 5 în 5°; deci, împărțind 40° ($\Delta\lambda$) la 5° se obține numărul intervalelor (8).

$$\Delta L_\lambda = \frac{\Delta\lambda}{\text{număr intervale}} = \frac{890 \cdot 4 \text{ mm}}{8} = 111.3 \text{ mm}$$

Se trasează meridianele din 5 în 5° (55° W, 50° W ... 25° W), separate de segmente egale cu 111.3 mm.

e – Calculul distanțelor grafice dintre ecuator (cu paralel inferior) și celelalte paralele ale zonei, din 5 în 5° ($L\varphi_{5°}$, $L\varphi_{10°}$, ..., $L\varphi_{25°}$):

0 – 5°N ... $\Delta\varphi c = 298.4$ ... $L\varphi_5 = 0.3710 \times 298.4 = 110.7$ mm

0 – 10°N ... $\Delta\varphi c = 599.1$ ... $L\varphi_{10} = 0.3710 \times 599.1 = 222.3$ mm

⋮

0° – 25° N ... $\Delta\varphi c = 154.3$ ... $L\varphi_{25} = 0.3710 \times 1540.3 = 571.5$ mm.

Se completează rețeaua cartografică a hărții cu paralelele de latitudine din 5 în 5°, trasate față de ecuator ca paralel inferior al hărții (zona reprezentată fiind în emisfera nordică), la distanțele grafice obținute ($L\varphi_{5°}$, $L\varphi_{10°}$, ..., $L\varphi_{25°}$).

Exemplul 4. Să se calculeze rețeaua cartografică în proiecție Mercator a zonei mărginite de paralelele $\varphi_1 = 55°$N; $\varphi_2 = 65°$N și meridianele $\lambda_1 = 60°$ W; $\lambda_2 = 70°$ W. Cilindrul de proiecție secant elipsoidului terestru după paralelul de referință cu

latitudinea medie a zonei de reprezentat $\varphi_m = \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2} = 60°$ N; scara proiecției la paralelul $\varphi_m = 60°$ N este $\frac{1}{2\ 000\ 000}$.

Să se traseze meridianele și paralelele din grad în grad.

Rezolvare (fig. 7-7):

a – Calculul modulului hărții (m)

Extrasul din Tavole Nautiche (Tabla III) arată că lungimea în metri a arcului de paralel de 10′, la latitudinea de 60°, este 9300.4653 m; deci, lungimea, în milimetri, a arcului de 1′ a aceluiași paralel este de 930046.53 mm. Deci modulul *(m)* este:

$$m = p \cdot \frac{1}{S\varphi} = \frac{9\ 30046 \cdot 53}{2\ 000\ 000} = 0.46502\ mm$$

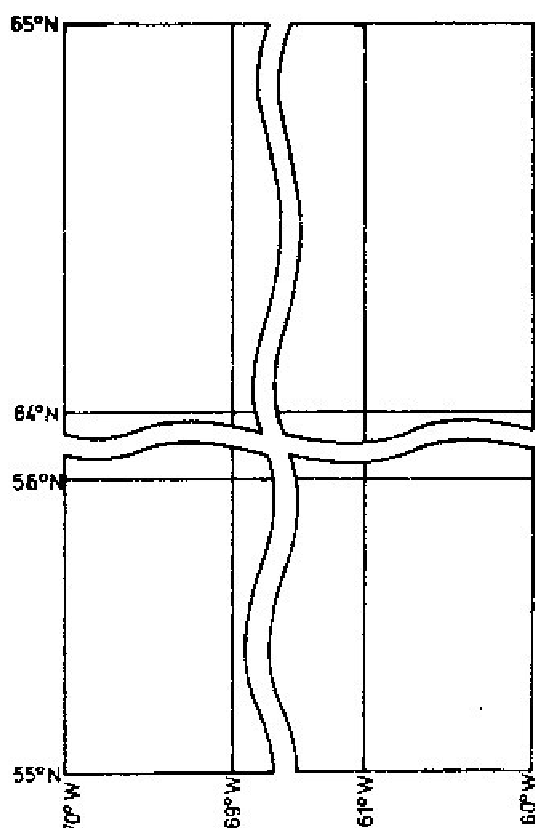


Fig. 7-7

b – Calculul lungimii cadrului hărții (Lλ)

$\Delta\lambda = 70°W - 60°W = 10°$ ... $\Delta\lambda = 10° \times 60' = 600'$

$L\lambda = m \cdot \Delta\lambda = 0.46502 \times 600' = 279.0$ mm;

c – Calculul lățimii cadrului hărții (Lφ)

$\varphi_2 = 65°N$ ...... $\varphi c_2 = 5157.9$ ... *(Tabla 26-MT 53)*

$\varphi_1 = 55°N$ ...... $\varphi c_1 = 3949.1$

$\Delta\varphi c = 1208.8$ mile ecuatoriale

$L\varphi = m \cdot \Delta\varphi c = 0.\ 46502 \times 1208.8 = 562.1$ mm

Se trasează cadrul hărții cu dimensiunile determinate (L_λ *și* L_φ)

d – Calculul lungimii grafice a intervalului dintre două meridiane alăturate ($\Delta L\lambda$).

Rețeaua cartografică trebuie să conțină meridianele din grad în grad; numărul intervalelor este de 10, $\Delta\lambda$ fiind 10°.

$$\Delta L\lambda = \frac{L\lambda}{\text{număr intervale}} = \frac{279.0\ mm}{10} = 27.9\ mm.$$

Se trasează meridianele, din grad în grad (69°W, ..., 61°W), separate de segmente egale cu 27.9 mm.

e – Calculul distanțelor grafice dintre paralelul inferior ($\varphi_1 = 55°$ N) și celelalte paralele ale zonei, din grad în grad ($L\varphi_{56°}, L\varphi_{57°}, ..., L_{64°}$):

55°N – 56°N ... $\Delta\varphi c = \varphi c_{56} - \varphi c_{55} = 105.7$ ... $L\varphi_{56} = 0.46502 \times 105.7 = 49.2$ mm

55°N – 57°N ... $\Delta\varphi c = \varphi c_{57} - \varphi c_{55} = 214.2$ ... $L\varphi_{57} = 0.46502 \times 214.2 = 99.6$ mm

|

55°N – 64°N ... $\Delta\varphi c = \varphi c_{64} - \varphi c_{55} = 1069.6$ ... $L\varphi_{64} = 0.46502 \times 1069.6 = 497.4$ mm

Se completează rețeaua cartografică a hărții cu paralele de latitudine, din grad în grad (56°N, 57°N ... 64°N), trasate față de paralelul inferior al hărții de 55°N (zona fiind în emisfera nordică) la distanțele grafice determinate ($L\varphi_{56°}, L\varphi_{57°}, ..., L\varphi_{64°}$).

Considerând Pământul de formă sferică (exemplul 4,), problema s-ar rezolva astfel:

– modulul hărții (*m*):

$$m = 1852 \cdot \cos\varphi \cdot 1000 \frac{1}{S\varphi} = \frac{1852 \cdot \cos 60^{\circ} \cdot 1\ 000}{2\ 000\ 000} = 0.4630 \text{ mm, unde } \cos 60° = 0.50000.$$

– lungimea cadrului hărții ($L\lambda$):

$$L\lambda = m \cdot \Delta\lambda = 0.4630 \times 600 = 277.8 \text{ mm;}$$

– lățimea cadrului hărții ($L\varphi$):

$$L\varphi = m.\ \Delta\varphi c = 0.4630 \times 1208.8 = 559.7 \text{ mm;}$$

– distanțele grafice dintre paralelul inferior (φ_1 = 55°N) și celelalte paralele ale zonei, din grad în grad ($L\varphi_{56°}, L\varphi_{57°}, L\varphi_{64°}$);

$L\varphi_{56°} = 0.4630 \times 105.7 = 48.9$ mm

$L\varphi_{57°} = 0.4630 \times 214.2 = 99.2$ mm

$L\varphi_{64°} = 0.4630 \times 1069.6 = 495.2$ mm.

7 Construcția rețelei cartografice pentru o zonă limitată

Când zona care se reprezintă este limitată, astfel ca să se poată admite variația minutului de meridian în proiecție ca neglijabilă, rețeaua cartografică se construiește în modul indicat în exemplul de mai jos.

Exemplul 5. Să se construiască scara longitudinilor și latitudinilor, precum și rețeaua cartografică în proiecție Mercator, a zonei mărginite de paralelele φ_1 = 32°20′N; φ_2 = 33°40′N și meridianele λ_1 = 29°00′E; λ_2 = 30°20′E.

Scara grafică a longitudinilor este ... 1′ = 1 mm.

Să se traseze meridianele și paralele din 10′ în 10′.

Rezolvare (fig. 7-8):

– se trasează direcţiile *AB* şi *AD*, reciproc perpendiculare şi direcţia *AC*, la un unghi faţă de *AB* egal cu latitudinea medie a zonei de reprezentat:

$$\varphi m = \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2} = 33^\circ N\ ;$$

– se construieşte scara grafică a longitudinilor, pe direcţia *AB*, intervalul dintre două meridiane alăturate fiind de 1 mm × 10′ = 10 mm. Din fiecare gradaţie obţinută se ridică meridianele din 10′ în 10′, ca perpendiculare pe direcţia *AB*;

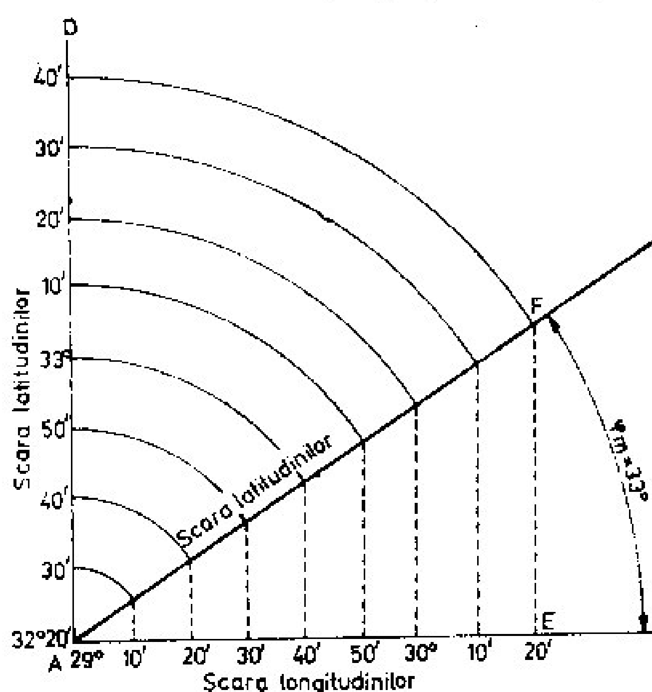


Fig. 7-8

– la intersecţia direcţiei *AC* cu meridianele ridicate ca perpendiculare pe direcţia *AB*, se obţine scara grafică a latitudinilor. Segmentul *AF* pe scara latitudinilor şi cel corespunzător pe scara longitudinilor *AE* se află în relaţia:

$$AF = AE\ .\sec \varphi m,$$

deci unităţile grafice de pe scara latitudinilor cresc cu sec φm faţă de cele de pe scara longitudinilor.

Scara latitudinilor astfel obţinută se poate raporta pe meridianul *AD* şi proceda apoi la trasarea reţelei cartografice.

Procedeul este aplicabil numai pentru zone limitate, în condiţii în care variaţia scării latitudinilor să poată fi considerată practic neglijabilă. Aproximaţia este consecinţa faptului că în această construcţie minutele de meridian cresc proporţional cu sec φ_m şi nu proporţional cu sec φ, ca în proiecţia Mercator.

Procedeul este cunoscut în navigaţie sub denumirea de "*construcţia grafică a scării latitudinii şi longitudinii* ", referindu-se la executarea acestei construcţii pentru o zonă limitată. Îşi găseşte o largă aplicare în navigaţia astronomică, la rezolvarea grafică a problemelor de determinare a poziţiei navei prin metoda dreptelor de înălţime.

§6 Conținutul hărților marine. Avizele pentru navigatori și corectarea hărților

La bordul navelor noastre maritime comerciale se utilizează hărți engleze, care pot fi procurate cu ușurință din majoritatea porturilor lumii. De aceea, în cele ce urmează ne vom referi la conținutul acestor hărți, la modalitatea procurării, corectării și utilizării lor la bord.

Cunoașterea hărților marine, a conținutului lor, abreviațiunilor și a diferitelor indicații menționate, constituie o obligație profesională fundamentală a oricărui navigator. Realizarea unui nivel satisfăcător de cunoaștere și acomodare a ochiului cu detaliile hărții, cu interpretarea corectă, în mod operativ, impune un studiu atent și un exercițiu perseverent.

1 Conținutul hărților marine

Seria hărții, ca element principal pentru identifcarea unei anumite hărți, din cele de ordinul sutelor sau chiar a miilor care se pot afla la bord, este menționată sub forma unui număr în colțul din stânga sus și dreapta jos.

Titlul hărții este trecut într-un loc convenabil astfel ca să nu acopere o suprafață cu un conținut important pentru navigație. Titlul indică zona geografică pe care harta o reprezintă.

Seria și titlul hărții sunt redate și pe versoul hărții, astfel ca să poată fi ușor identificate când se păstrează împăturite în mape.

Data publicării este indicată pe marginea inferioară, la mijloc, astfel:
„*London. Published at the Admiralty, 6th March 1971*".

Data tipăririi este menționată în colțul din dreapta sus, astfel: „212.71", indicând faptul că harta a fost tipărită în ziua a 212-a a anului 1971.

Dimensiunile hărților sunt indicate în inci, în colțul din dreapta jos, astfel: (37.25 × 24.70). Aceste valori indică dimensiunile hărții între limitele interioare ale scărilor grafice ale latitudinilor și longitudinilor și servesc pentru a verifica eventuale deformații; operațiunea se face când harta este uscată.

Scara grafică a latitudinilor (crescânde) delimitează suprafața reprezentată, spre est și vest; *scara grafică a longitudinilor* delimitează suprafața hărții spre nord și sud. Unitatea grafică este la precizie de $1, 0._5, 0._2, 0._1$, funcție de scara numerică a hărții.

Rețeaua cartografică este reprezentată prin meridiane și paralele trasate din grad în grad, multipli sau subdiviziuni ale acestuia funcție de asemenea de scara numerică a hărții și extinderea zonei reprezentate.

Scara numerică a hărții (*natural scale*) este indicată sub titlul hărții, alături de *paralelul de referință*, redat prin latitudinea acestuia; de exemplu: „Natural Scale $\frac{1}{251\,000}$ (Lat. 36°10′N)".

Pe o serie de hărți la scară mare, în partea de jos este redată și scara grafică a hărții, la unele dublând *scara latitudinilor crescânde*, la altele (de regulă pe planurile porturilor, radelor etc.) substituind această scară; o asemenea scară este intitulată: "*Scale of latitude and distance*".

Simbolurile şi abreviaţiunile folosite pe hărţile engleze sunt indicate în *harta 5011 („Explanation of symbols and abbreviations used on Admiralty charts"*. Această hartă trebuie afişată la comandă în *camera hărţilor*, astfel ca să fie permanent la îndemâna ofiţerului de cart pentru studiu şi confruntare, atunci când situaţia impune.

Linia coastei („*The coastline*" – fig. 7-9, extrasă din harta 5011) este reprezentată pe hartă în mod diferit, funcţie de caracteristicile pe care le prezintă; imaginea *1* – de exemplu, reprezintă o coastă incomplet cunoscută, imaginea *2* – o coastă abruptă, imaginea 11*a* – o coastă cu întinsură de mâl, imaginea *11g* – o coastă cu întinsură de corali etc.

Topografia coastei, cu elementele ei constitutive naturale sau artificiale (fig. 7-10, extrasă din harta 5011), prezintă un interes deosebit pentru recunoaşterea zonei prin observarea de la larg, atunci când se navigă de-a lungul unor coaste necunoscute.

Pericolele de navigaţie, din apropierea coastei, ca recifuri de corali, stânci, epave etc. sunt reprezentate printr-o serie de simboluri şi abreviaţiuni („*Dangers*", fig. 7-11, extrasă din harta 5011).

Sondajele sunt indicate obişnuit în braţe sau în picioare (pe planuri); pe hărţile redactate în ultima perioadă, adâncimile mai mici de 11 braţe sunt exprimate în braţe şi picioare. Unitatea de măsură în care sunt exprimate adâncimile este indicată sub titlul hărţii, de exemplu: „*Soundings in fathoms*".

În zonele cu maree, nivelul de referinţă al sondajelor („nivelul zero hartă") este indicat sub titlul hărţii pentru mareea joasă la un anumit stadiu (vezi cap. 33 § 4).

Sondajele prezentate în forma $\frac{\cdot}{32}$ arată faptul că în punctul respectiv s-a sondat la adâncimea indicată, în braţe (în exemplul dat 32 braţe), fără a se atinge fundul mării; existenţa unor asemenea notaţii dezvăluie faptul că ridicarea zonei nu s-a efectuat în mod riguros.

Liniile de pe hartă care unesc punctele de egală adâncime se numesc *linii batimetrice* sau *izobate*. Indicarea de sondaje numeroase în hartă arată că ridicarea ce a stat la baza întocmirii hărţii s-a făcut printr-un studiu atent. Dimpotrivă, sondajele puţine conţinute în hartă pot constitui un indiciu că studiul zonei respective s-a făcut superficial; excepţii de la o asemenea interpretare o pot constitui zonele cu adâncimi evident mari. De aceea, „spaţiilor albe" de pe hartă (spaţii lipsite de sondaje) li se pot da următoarele interpretări:

– dacă adâncimile din jur sunt mari şi nu sunt pericole de navigaţie, se acceptă că şi în zona spaţiilor albe adâncimile sunt de asemenea mari;

– dacă adâncimile din jur sunt variabile sau în apropiere se găsesc pericole de navigaţie, este recomandat a se evita trecerea prin spaţiile albe. Dacă totuşi trecerea este impusă, este necesar a se lua toate măsurile de siguranţă posibile, funcţie de condiţiile de navigaţie.

Adâncimile minime la care se navigă de-a lungul coastei sunt determinate de profilul fundului mării din zonă, de pescajul navei şi condiţiile de navigaţie (starea marii, vizibilitate, posibilitatea determinării continue a poziţie navei etc.).

Înălţimile reperelor de navigaţie, a elementelor topografice etc., se exprimă în picioare deasupra *nivelului mediu al apei înalte la sizigii* (vezi cap. 33).

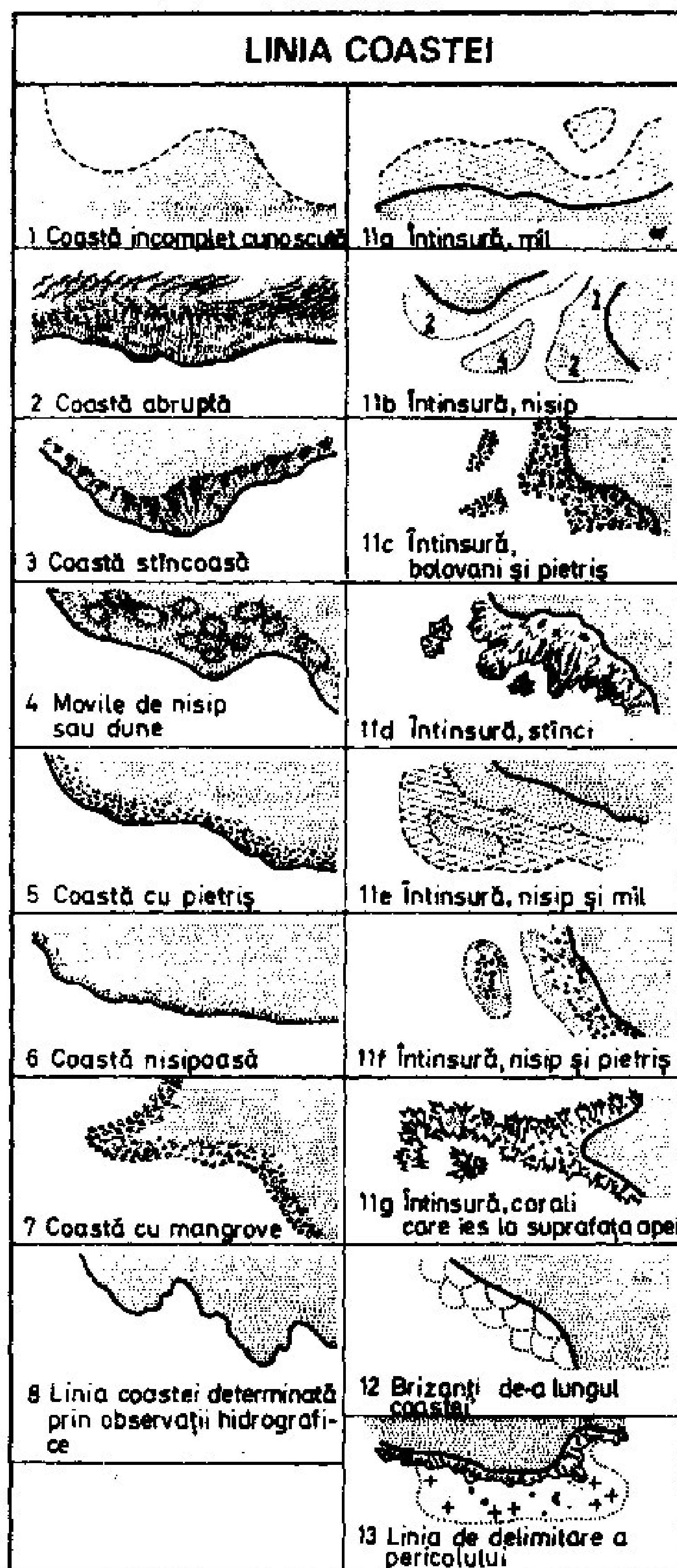

LINIA COASTEI
1 Coastă incomplet cunoscută
11a Întinsură, mîl
2 Coastă abruptă
11b Întinsură, nisip
3 Coastă stîncoasă
11c Întinsură, bolovani şi pietriş
4 Movile de nisip sau dune
11d Întinsură, stînci
5 Coastă cu pietriş
11e Întinsură, nisip şi mîl
6 Coastă nisipoasă
11f Întinsură, nisip şi pietriş
7 Coastă cu mangrove
11g Întinsură, corali care ies la suprafaţa apei
8 Linia coastei determinată prin observaţii hidrografice
12 Brizanţi de-a lungul coastei
13 Linia de delimitare a pericolului

Fig. 7-9

FACTORI TOPOGRAFICI NATURALI

2000
1500
1000
500
250

1 Linii de nivel

2500
2000
1500
1000
500
250

1a Linii de contur, aproximative

2 Coline redate prin haşurare

2a Coline redate prin linii de formă

3 Gheţari

Saltpans

4 Saline

5a Copaci cu frunze căzătoare

5b Conifere

5c Palmieri

6 Terenuri cultivate

8 Boschete

137ᵗ or (68ᵗ)

11 Înălţimea vîrfurilor copacilor

12 Curgere de lavă

R.

13 Rîu sau torent

15 Lac

Lagⁿ

16 Lagună

17 Mlaştină sau baltă (cu apă sărată sau dulce)

a

FACTORI TOPOGRAFICI ARTIFICIALI

1 Şosea

2 Pîrtie, cărare

3 Cale ferată

3a Linie de tramvai

3b Staţie („Stⁿ", station) 3c Tunel

3d Terasament 3e Excavare

Transporter (24ft)

4 Pod transportor

Power (98)

Power

Overhead (98ft)

5 Linie electrică cu înălţimea ei deasupra apei înalte

(64)

Overhead (64ft)

6 Linie de telegraf sau telefon cu înălţimea deasupra apei înalte

14 Pod, în general

Swing Bridge

16 Pod rotativ

17 Pod pe pontoane

Fig. 7-10

PERICOLE DE NAVIGAȚIE

1 Stîncă deasupra nivelului apei, cu înălțimea ei deasupra nivelului mediu al apei la sizigii, sau acolo unde nu există maree, deasupra nivelului mediu al mării — (12) (5ft high)	15 Wreck (4) or Wk — Epavă deasupra căreia este cunoscută adîncimea exactă a apei
2 (3) Dries 5ft — Stînci, care pe timpul mareei sînt acoperite de apă sau ies la suprafața apei, cu înălțimea deasupra nivelului zero hartă	16 — Epavă deasupra căreia adîncimea exactă a apei este necunoscută, dar se consideră a fi mai mare de 8 brațe; ori o epavă deasupra căreia adîncimea este considerată a fi de 8 brațe sau mai puțin, dar care se apreciază a nu fi periculoasă pentru navele de suprafață capabile să navige în vecinătate
3 — Stîncă, ce apare la suprafața apei la nivelul zero hartă	17 Foul — Resturile unei epave ce nu sînt periculoase pentru navigația de suprafață, dar care trebuie evitate de navele ce ancorează, trautează, etc.
4 — Stîncă cu adîncimea de 6 picioare sau mai puțin la nivelul zero hartă, ori stîncă a cărei adîncime este necunoscută, ori îngrămădire de stînci a căror adîncime, în general, este cunoscută a fi de 6 picioare sau mai puțin	18 — Turbulență la suprafața apei datorită curentului de maree care este deflectat în sus sub acțiunea unor obstacole întîlnite pe fundul mării („overfall" sau „tide-ripe")
5a (4) R — Sondajul deasupra unei stînci izolate	19 — Vîrtejuri (eddies)
6a (3) — Adîncime, la nivelul zero hartă, la care o obstrucție a fost găsită cu sîrma de control (prin dragare)	20 — Alge marine (kelp)
10 Recif de corali, care nu iese la suprafața apei — Co	21 Bk — Banc (bank)
11 — Epavă care arată anumite părți ale corpului la nivelul zero hartă	22 Sh — Loc de adîncime redusă (shoal)
(11a) Wk — Epavă vizibilă (pe planuri la scara mare)	23 Rf — Recif (reef)
12 (Masts and Funnel) — Epavă periculoasă ale cărei catarge (masts) și coșul (funnel) sînt vizibile	24 Le — Îngrămădire de stînci (ledge)
(Mast 5ft) (Funnel) (Mast dries 7ft) — Pe hărțile la scară mare se indică și înălțimea catargelor și coșului deasupra nivelului apei	25 — Brizanți (breakers)
13 — Epavă aflată parțial sau total sub apă, deasupra căreia adîncimea este necunoscută	27 Obstn — Obstrucție (obstruction)
14 — Epavă deasupra căreia nu este cunoscută adîncimea exactă a apei, dar se consideră a fi de 8 brațe sau mai puțin și care se apreciază a fi periculoasă pentru navigația de suprafață	28 Wk — Epavă (wreck)
	32 Dr. — Care este deasupra nivelului apei (dries)
	33 Cov. — Acoperit de apă (covers)
	34 Uncov. — Care iese la suprafața apei (uncovers)
	35 Repd — Raportat (reported)
	36 Discold — Decolorat (discoloured)
	38 — Linia pentru delimitarea unui pericol de navigație
	41 (P.A.) — Poziția aproximativă (position approximate)
	42 (P.D.) — Poziția îndoielnică (position doubtful)
	43 (E.D.) — Existență îndoielnică (existence doubtful)
	44 Posn — Poziția (position)
	45 (D) — Îndoielnic (doubtful)
	(46) Unexamd — Neverificat (unexamined)

Fig. 7-11

2 Procurarea hărţilor şi păstrarea lor la bord

La intrarea în exploatare, nava trebuie dotată cu toate hărţile şi documentele nautice necesare (cărţi pilot, cărţi faruri, cărţi radiofaruri, etc.) pentru zona în care urmează să navige. Ulterior, funcţie de extinderea zonei de navigaţie sau de necesitatea unor hărţi de ediţie recentă, ele se pot procura prin intermediul agenţilor navei din porturile de escală, de la depozitele de hărţi. Comanda hărţilor se face indicând seriile acestora.

Documentul ajutător pentru identificarea hărţilor şi a celorlalte documente necesare este *catalogul hărţilor* („*Catalogue of Admiralty charts and other hydrographic publications*"). Acest catalog, editat anual, trebuie asigurat la bordul fiecărei nave; el conţine o listă a diferitelor hărţi marine, cu seria şi titlul lor, ca şi a celorlalte documente nautice necesare la bord. Pentru identificarea seriilor hărţilor necesare şi a zonelor acoperite de acestea, catalogul conţine o serie de *hărţi index*, care trebuie consultate; hărţile index sunt prezentate la "Section IV: *Limits of Admiralty chart indexes*".

Astfel, considerând că nava are de executat un voiaj de la Constanţa la Buenos-Aires, având hărţile asigurate numai până la Gibraltar, consultând "*Limits of Admiralty chart indexes*" se constată că hărţile necesare de procurat până la destinaţie sunt cuprinse în hărţile index : *G* (coasta de vest a Africii), *G* 1 (zona insulelor Canare şi Capului Verde), S.4 şi S.3 (coasta de est a Americii de Sud).

În lipsa unui catalog, seriile hărţilor mai pot fi găsite şi în hărţile index aflate la începutul fiecărei cărţi pilot, pentru zona care interesează.

Catalogul conţine adresele agenţiilor pentru vânzarea hărţilor (Section II : „*List of Admiralty chart agents for the sale of charts and hydrographic publications*"), aflate în porturile principale ale lumii; în cazul în care în portul de escală sau în imediata apropiere nu se găseşte un asemenea depozit de hărţi, comanda trebuie făcută prin radiogramă, în timp util, astfel ca agentul navei să poată asigura procurarea.

Hărţile se păstrează la bord, în mape, pe hărţi index, în ordine geografică. În multitudinea hărţilor de la bord, cel mai eficient sistem de evidenţă este următorul: în catalog, pe hărţile index, seriile hărţilor existente la bord, se încadrează cu creion roşu într-un dreptunghi lângă care se adnotează, cu creion negru, data ultimei corecturi. O asemenea evidenţă este de foarte mare ajutor în pregătirea hărţilor la plecarea în voiaj, cât şi la stabilirea hărţilor ce mai trebuie procurate.

3 Corectarea hărţilor. Avize către navigatori

În momentul procurării hărţilor, acestea sunt corectate la zi, în funcţie de informaţiile transmise pentru zona respectivă şi care interesează navigaţia.

Se disting:

– *corecţii mari* (*large corrections*), pe baza unor informaţii importante pentru navigaţie, care se notează pe marginea de jos, în dreapta;

– *corecţii mici* (*small corrections*), pe baza unor informaţii de valoare curentă pentru navigaţie, care se notează pe marginea de jos a hărţii, în stânga.

Alături de anul în care s-a efectuat corecția se notează și numărul *avizului către navigatori*, pe baza căruia s-a făcut această operațiune.

Avizele către navigatori sunt informații referitoare la siguranța navigației, privind: construcția de noi repere de navigație, modificarea caracteristicilor farurilor, amplasarea de geamanduri, apariția de pericole de navigație, editarea de hărți noi sau alte documente nautice etc. Funcție de urgența lor, ele se transmit prin radio, prin publicații zilnice, săptămânale etc.; conținutul acestor avize poate să fie de valoare temporară sau permanentă. Principalele documente de informare pentru serviciul navigației sunt:

– *Avize radio de navigație* (*"Radio navigațional warnings"*), care conțin comunicări urgente privind siguranța navigației (apariția unor pericole de navigație, scoaterea din funcție a unor faruri, radiofaruri, instituirea interdicției de navigație în anumite zone de către autoritățile apelor teritoriale etc.). Lista stațiilor radio care transmit asemenea avize, cu programul și condițiile lor de lucru, sunt conținute în *List of radio signals* volumele I și V, ce se găsesc în dotarea fiecărei nave maritime;

– *Avize zilnice către navigatori* (*"Daily notices to mariners"*) în care se publică zilnic informații privind navigația; apariția unor hărți sau documente nautice noi, indicații pentru corectarea hărților și a celorlalte documente nautice, indicații pentru corectarea NEMEDRI (instrucțiuni pentru navigația în zone cu pericol de mine), pericole de navigație identificate, informații privind balizajul etc. În *avizele zilnice* se repetă și informațiile transmise prin *avizele radio*.

Fiecare informație conținută poartă un număr de ordine, în succesiune consecutivă de la începutul anului, care se inserează în hartă în locul unde se menționează corecția;

– *Ediția completă săptămânală* (*"The weekley complete edition"*), care însumează toate avizele către navigatori transmise în cursul săptămânii respective;

– *Sumarul anual al avizelor către navigatori* (*"The annual summary of Admiralty notice to mariners"*), publicat anual, la 1 ianuarie, pentru anul precedent; conține avizele principale transmise, care merită a fi reținute pentru verificarea corectării hărților și a celorlalte documente nautice de la bord, precum și alte informații importante privind navigația.

Toate aceste publicații conținând avize către navigatori trebuie procurate de comandantul navei prin intermediul agenților maritimi din porturile de escală. Pe măsura obținerii lor se procedează la corectarea hărților și a celorlalte documente nautice, astfel:

– corecțiile pentru avizele cu caracter permanent se efectuează cu *cerneală violetă* (specială pentru hărți, care nu este solubilă în apă), *folosindu-se simbolurile și abreviațiunile indicate în harta 5011*, pentru a se asigura uniformitatea conținutului hărții. Conținutul original al hărții ce face obiectul corecturii se taie și se notează cel indicat în aviz;

– pe hărțile la scară mare (hărți costiere și planuri) se fac corecturile de detaliu. Pe hărțile costiere generale și hărțile de drum se fac numai acele corecturi ce interesează navigația costieră și aterizările pe coastă. Pe hărțile generale se corectează numai caracteristicile farurilor cu o bătaie mai mare de 15 Mm și eventuale pericole de navigație apărute la larg;

– *corecțiile mari* se notează pe marginea de jos, în dreapta, iar *corecțiile mici* pe aceeași margine, în stânga, indicând anul și numărul de ordine al avizului;

– corecțiile pentru avizele cu caracter temporar se notează pe hartă cu creion negru și se șterg de îndată ce sunt anulate.

Corectarea hărților, ca și a celorlalte documente nautice folosite la bord, ținerea conținutuluim lor la zi cu toate detaliile ce interesează siguranța navigației este o sarcină de o deosebită importanță la bord; ignorarea ei sau tratarea superficială a cauzat sinistre maritime pentru care nu se pot găsi justificări nici în fața justiției și, mai ales, în fața conștiinței. Sarcina corectării hărților și a documentelor nautice la bord revine *ofițerului maritim II*, operațiune care se verifică apoi de către comandantul navei.

La procurare, hărțile sunt corectate la zi, cu toate avizele de valoare permanentă; corectarea pentru avizele temporare, în măsura în care ele mai sunt valabile, trebuie efectuată la bord.

4 Considerații asupra preciziei hărților marine

Conținutul hărților marine este rezultatul unor ridicări hidrografice ale zonei reprezentate, operațiuni laborioase de determinare a liniei coastei, a coordonatelor geografice ale obiectelor conținute, a înălțimii acestora deasupra nivelului mării, efectuarea sondajelor, identificarea pericolelor de navigație, etc. Desigur că, rigurozitatea acestor ridicări hidrografice, acuratețea măsurătorilor și determinărilor ce stau la baza întocmirii hărților marine sunt diferite, faptul fiind determinat de o serie de factori, între care ar fi de menționat și costul ridicat al unor asemenea operațiuni.

Aproximația sau insuficiența observațiilor este indicată în hartă, atunci când este cazul. Un exemplu tipic îl constituie hărțile care reprezintă coasta de sud a peninsulei Arabice, unde între Aden și Muscat, pe o distanță de aproape 1300 Mm nu se găsești nici un far; de-a lungul coastei sunt indicații repetate prin care se arată că sondajele menționate, puține la număr, sunt aproximative și anumite porțiuni ale liniei coastei sunt insuficient cunoscute. În aceste condiții, navele urmează drumuri paralele cu coasta la o distanță de 20-40 Mm.

Criteriile care pot sta la baza selecționării unei hărți sunt următoarele:

– ridicarea hidrografică sau ultima ridicare, în cazul în care s-au efectuat mai multe, să fie de o dată cât mai recentă;

– sondaje dese și regulate, fără spații albe;

– reprezentarea clară a cât mai multe linii baltimetrice;

– linia coastei să fie reprezentată printr-o linie continuă și nu punctată (indicând lipsa unor informații suficiente).

Gradul de încredere pe care îl prezintă o hartă depinde de rigurozitatea cu care s-a efectuat ridicarea hidrografică inițială și de completarea acesteia cu observații ulterioare, pe măsura apariției de elemente noi în zonă.

În navigație, se recomandă utilizarea de hărți la scară mare, deoarece:

– conțin mai multe detalii de navigație;

– orice eroare este redusă la minimum;

– dacă harta are o deformație, aceasta are efect minim asupra preciziei;

– conține corecții de detaliu.

Cărțile pilot (*"Sailing directions"* sau, în limbajul curent, *"Pilots"*), publicate în 75 volume pentru întreaga suprafață a globului, conțin la începutul fiecărui volum un capitol, "Utilizarea hărților ca mijloace de naviație" (*"The use of charts as navigational aids"*), în care se fac aprecieri foarte utile privind gradul de încredere prezentat de hărțile din zona respectivă și se dau indicații practice de urmat. Lecturarea acestui capitol, odată cu studiul drumului, este de mare importanță.

§7 Proprietățile proiecției Mercator. Folosirea lor la rezolvarea pe hartă a problemelor fundamentale

Harta în proiecție Mercator prezintă o serie de proprietăți, care o fac aptă pentru rezolvarea problemelor fundamentale ale navigației.

Rețeaua cartografică este rectilinie și rectangulară, proprietate care asigură rezolvarea comodă și precisă a:

– punerii pe hartă a unui punct de coordonate date;

– determinării (citirii) coordonatelr unui punct dat.

Loxodroma apare ca o linie dreaptă ce intersectează meridianele sub unghiuri egale proprietate care permite:

– trasarea drumului navei sau a relevmentelor la reperele de navigație ca o dreaptă determinată de mărimea unghiulară a acestora în raport cu meridianele pe care le taie;

– măsurarea și citirea drumului navei, respectiv a relevmentului sub care se vede un obiect dintr-un punct dat.

Scara latitudinilor crescânde care delimitează zona reprezentată a hărții spre est și vest servește ca scară pentru măsurarea pe hartă a distanței parcurse de navă, precum și a distanțelor la obiecte (repere de navigație etc.). Unitatea grafică pentru măsurarea distanțelor este mila Mercator (=diferența de latitudine crescândă de 1′). Deoarece mărimea grafică a milei Mercator crește proporțional cu sec φ, se impune ca distanța grafică dintre două puncte de pe hartă, reprezentată prin deschizătura ghearei de compas, să se măsoare pe scara latitudinilor crescânde în intervalul determinat de paralelele celor două puncte.

Exemplul 6 (fig. 7-12, extrasă din harta 1179 *"Bristol Channel"*).

O navă se află în punctul Z_1 de coordonate $\varphi_1 = 51°01'.5N$; $\lambda_1 = 4°42'.0$ W și navigă în *Da* = 52°, parcurgnd distanța *m* = 7 · 7 Mm.

Se cere:

1 – să se treacă pe hartă punctul Z_1;

2 – să se traseze drumul navei (*Da* = 52°);

3 – să se traseze distanța parcursă de navă (m = 7 · 7 Mm) în *Da* = 52°;

4 – să se delimiteze coordonatele geografice ale punctului Z_2, în care nava sosește după parcurgerea distanței *m* = 7 · 7 Mm în *Da* = 52°;

5 – relevmentul adevărat în care se vede farul *Hartland Pt.* din punctul Z_1;

6 – distanța la care se află farul *Hartland Pt.* de navă, aflată în punctul Z_1.

Rezolvare:

1 – La intersecția paralelului de latitudine φ_1 = 51°01'.5 N cu meridianul de longitudine λ_1 = 4°42'.0 W se determină punctul Z_1. Problema se rezolvă cu ajutorul liniilor paralele, a echerelor de navigație prin translare sau cu gheara de compas.

2 – Prin punctul Z_1 se trasează *Da* = 52°, cu ajutorul echerului raportor sau al liniilor paralele.

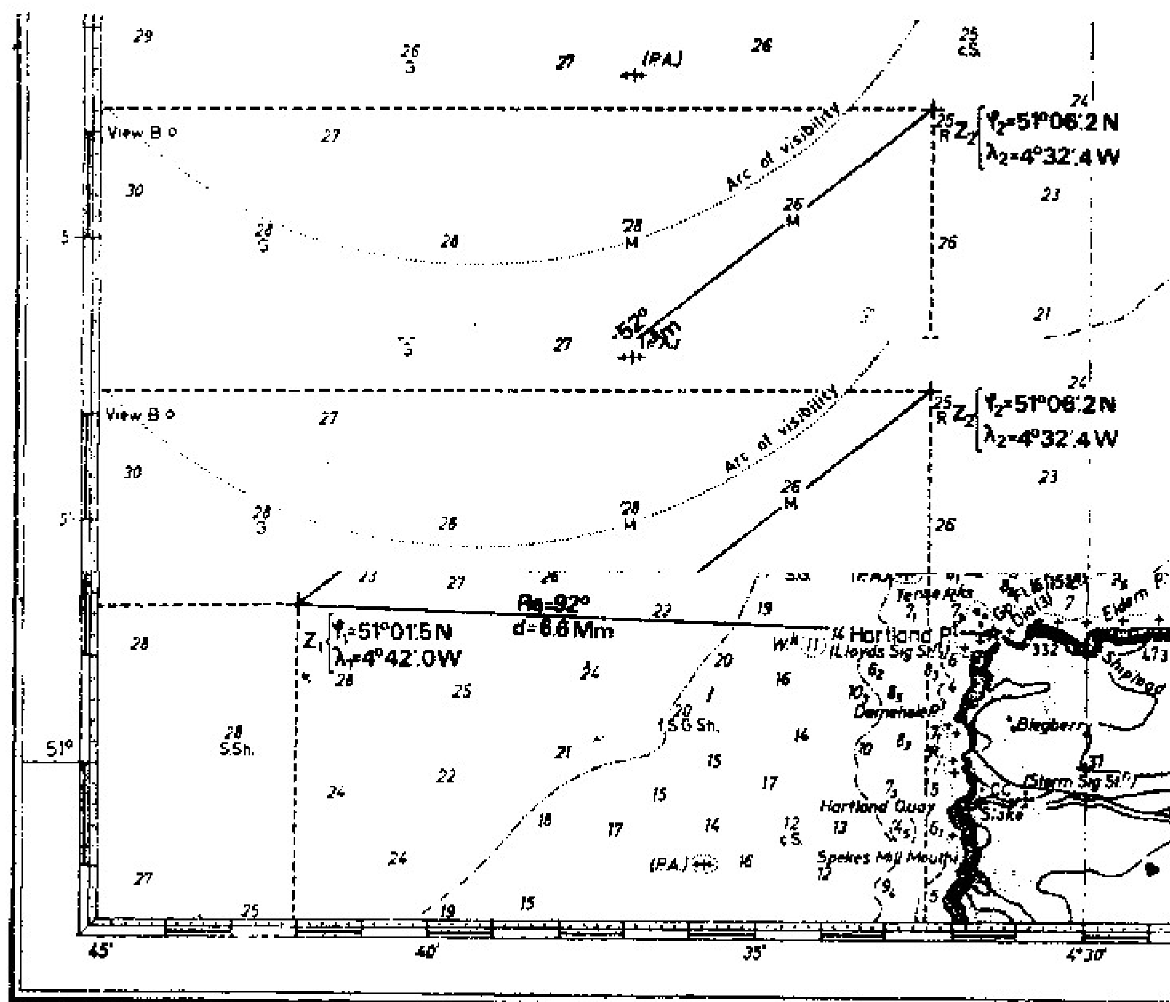


Fig. 7-12

Cu echerul raportor se măsoară unghiul de 52° (= *Da*) la cel mai apropiat meridian, a cărui ipotenuză este translată apoi cu ajutorul celui de al doilea echer în punctul Z_1; drumul este trasat prin punctul Z_1 de-a lungul ipotenuzei echerului raportor, în sensul drumului adevărat al navei (= 52°). Echerul raportor este gradat la precizie de 1°, prin apreciere însă, drumul navei poate fi trasat la precizie de aproximativ 0° · 1.

Trasarea drumului navei cu ajutorul liniilor paralele se efectuează astfel:

– la *roza adevărată* (roza exterioară, fig. 3-6) cea mai apropiată de pe hartă, se orientează una din marginile liniilor paralele pe direcția determinată de centrul rozei și gradația care reprezintă drumul navei (= 52°);

– se transleazǎ marginea liniilor paralele în punctul Z_1 și se trasează drumul adevărat al navei (= 52°).

Trasarea drumului navei prin folosirea celei mai apropiate *roze adevărate* se poate efectua în mod similar și cu ajutorul a două echere simple (negradate)

3 – În dreptul paralelului punctului Z_1, pe cea mai apropiată scară a latitudinilor crescânde, se măsoară cu gheara de compas – distanța parcursă de navă, m = 7 · 7 Mm; apoi, cu un picior al ghearei de compas în Z_1, se intersectează drumul adevărat al navei (= 52°) la distanța *m* = 7 · 7 Mm, în punctul Z_2.

4 – Se duce paralelul punctului Z_2, cu liniile paralele sau cu echerele și se citește latitudinea φ_2 = 51°06′ · 2 N, *pe scara* latitudinilor crescânde. Se duce meridianul punctului Z_2 cu aceleași instrumente și se citește λ_2 = 4°32′ · 4 W, *pe scara longitudinilor.*

5 – Se unește punctul Z_1 cu punctul reprezentând poziția farului *Hartlan Pt*, cu ipotenuza echerului raportor sau cu marginea liniile paralele și se măsoară relevmentul adevărat în care se vede acest far, *Ra* = 92°. Măsurarea relevmentului adevărat, ca mărime unghiulară, se efectuează în modul indicat la punctul 2, însă în ordine inversă.

Citirea relevmentelor și a drumurilor din hartă se face la precizie de 0° · 1 (zecimile de grad fiind citite prin estimare).

6 – Se deschide gheara de compas cu un picior în Z_1 și cu al doilea în punctul reprezentând farul *Hartland Pt.* Cu gheara de compas astfel deschisă, *se măsoară pe scara latitudinilor crescânde* în dreptul paralelului farului, distanța *d* = 6 · 6 Mm.

Recomandări pentru lucrul pe hartă. Un lucru pe hartă corect, precis și expeditiv este rezultatul unui antrenament perseverent; în scopul obținerii unor deprinderi corecte se fac următoarele recomandări:

– se lucrează ușor cu un creion moale (Nr. 2 sau HB) și bine ascuțit, astfel ca să se poată șterge cu ușurință. Se folosește o gumă moale;

– suprafețele de sprijin ale instrumentelor (echere și linii paralele) trebuie să fie curate, ca să nu murdărească harta;

– *notațiile pe hartă se fac folosind simbolurile și abreviațiunile care sunt în uz la bordul navelor maritime comerciale, indicate în prezenta lucrare. Acest fapt asigură uniformitatea în lucrul pe hartă și posibilitatea interpretării corecte și fără dificultăți a problemelor rezolvate pe hartă de către următorii ofițeri de cart, care preiau conducerea navei în navigație și de către comandant, la venirea acestuia pe comandă;*

– trasarea pe hartă și citirea drumului trebuie făcută cu foarte multă atenție și verificată, ca fiind o problemă de importanță vitală pentru siguranța navigației;

– hărțile pentru voiajul de executat se pregătesc de către ofițerul maritim II, în succesiunea geografică a drumului de urmat. Ștergerea hărților se efectuează de către acelaşi ofițer, la sosirea în portul de destinație, cu aprobarea comandantului navei;

– trecerea poziției navei de pe o hartă pe alta, în timpul navigației, pe măsura deplasării navei, se efectuează de către ofițerul de cart prin relevment și distanță la un reper de navigație conținut pe ambele hărți și se verifică prin compararea coordonatelor geografice. Se recomandă a se efectua o deeterminare a poziției navei,

în scop de control, imediat după efectuarea transferului pe noua hartă, de îndată ce condițiile de navigație permit;

– pentru determinarea drumurilor și relevmentelor cu ajutorul compasului magnetic, ofițerul maritim II calculează declinația magnetică pentru anul în curs, pe care o notează în dreptul fiecărei roze magnetice. Această notație se menține pe toată durata anului respectiv. Drumurile și relevmentele se convertesc folosind declinația de la roza magnetică cea mai apropiată de punctul navei;

– se va păstra pe masa de lucru, fixată cu greutăți (speciale pentru hărți), doar harta pe care se navigă, pentru a se evita măsurarea distanței pe scara latitudinilor vreunei hărți aflate dedesubt;

– se impune evitarea udării hărții, când se navigă pe timp de ploaie sau ninsoare, pentru a preveni provocarea de deformații, capabile să afecteze precizia acesteia.

§8 Proiecții gnomonice

1 Considerații asupra proiecțiilor gnomonice

În proiecțiile gnomonice sau *centrale* ochiul observatorului se consideră în centrul Pământului, iar planul de proiecție este tangent la suprafața sferei terestre într-un anumit punct.

Funcție de poziția punctului de tangență a planului de proiecție pe sfera terestră se disting trei feluri de proiecții gnomonice:

– *proiecții gnomonice ecuatoriale*, când punctul de tangență se află pe ecuatorul terestru;

– *proiecții gnomonice polare*, când punctul de tangență este unul din polii tereștri;

– *proiecții gnomonice oblice* (*zenitale sau orizontale*), când punctul de tangență este un punct oarecare al sferei terestre, între ecuator și poli.

Fiecare punct "a" de pe hartă (fig. 7-13) se află la intersecția planului de proiecție cu raza vizuală care pleacă din centrul Pământului și trece prin punctul de reprezentat A, de pe sfera terestră.

Proprietatea fundamentală a proiecției gnomonice constă în faptul că arcul de cerc mare, deci ortodroma, este reprezentată ca o linie dreaptă; această proprietate o face utilă în practica navigației ortodromice. Pe sfera terestră, cercul mare este intersecția suprafeței sferei cu un plan care trece prin centrul Pământului; ortodroma care leagă două puncte pe sfera terestră este reprezentată în harta gnomonică prin dreapta de interesecție dintre planul de proiecție, cu planul cercului mare determinat de arcul ortodromic respectiv.

Hărțile gnomonice folosite ca hărți marine sunt obținute exclusiv prin reprezentarea sferei terestre; elipsoidul terestru nu constituie obiectul proiecției gnomonice, deoarece proprietatea fundamentală pe care o oferă – de a reprezenta ortodroma ca o linie dreaptă, condiționează considerarea Pământului de formă sferică.

Prin specificul sistemului de proiectare, proiecţia gnomonică nu poate reprezenta decât o parte a unei emisfere terestre. Proiecţia gnomonică nu este nici conformă şi nici echivalentă.

2 Proiecţia gnomonică ecuatorială

În proiecţia gnomonică ecuatorială, planul de proiecţie este tangent la sfera terestră într-un punct Q de pe ecuator (fig. 7-13); punctul Q se consideră *punctul central al proiecţiei*, iar meridianul PQP' se numeşte *meridian principal al proiecţiei*.

Ecuatorul, ca cerc mare, se proiectează pe dreapta eQe'.

Meridianul principal PQP', de asemenea cerc mare, se proiectează pe dreapta pQp', perpendiculară pe proiecţia ecuatorului eQe'.

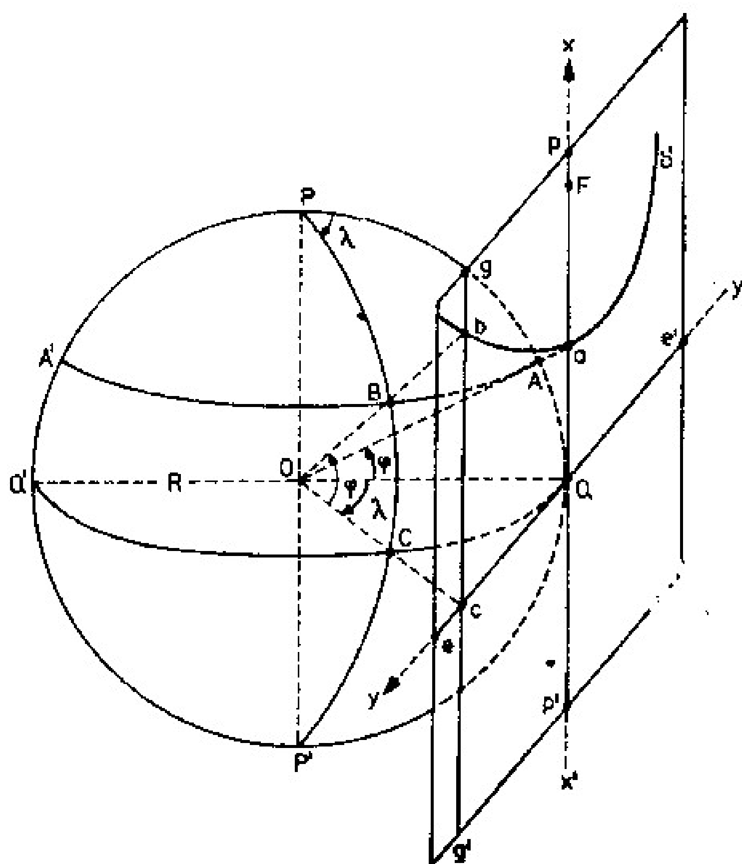


Fig. 7-13

Un meridian oarecare PCP', care face un unghi λ cu meridianul principal, se proiectează pe dreapta gcg', paralelă cu proiecţia meridianlui principal pQp' şi perpendiculară pe proiecţia ecuatorului eQe'. Distanţa Qc dintre proiecţia meridianului principal şi proiecţia gcg' a meridianului considerat se obţine din triunghiul OQc, dreptunghic în Q, din relaţia:

$$Qc = R \operatorname{tg} \lambda \tag{7-18}$$

În proiecția gnomonică ecuatorială meridianele apar deci ca drepte paralele între ele, perpendiculare pe ecuator; distanța de la meridianul principal la un meridian oarecare crește proporțional cu tangenta unghiului pe care acestea îl formează, egal cu diferența longitudinilor lor geografice. Meridianele situate la 90° spre est și vest față de meridianul principal nu sunt reprezentate în proiecție, ele proiectându-se la infinit (tg 90° = ∞).

Pentru a vedea cum apar paralele în proiecție gnomonică, considerăm un paralel oarecare *AA'* de latitudine φ. Punctul *A* al acestuia aflat la intersecția cu meridianul principal se proiectează pe dreapta *pQp'* în punctul *a*, la distanța *Qa* de ecuator; segmentul *Qa* se obține din triunghiul *oQa*, dreptunghic în *Q*:

$$Qa = R \text{ tg } \varphi \qquad (7\text{-}19)$$

Punctul oarecare *B* al paralelului *AA'*, de latitudine φ, situat la intersecția cu meridianul *PCP'*, care face unghiul λ cu meridianul principal, se proiectează în *b* pe dreapta *gbg'*, la o distanță *cb* față de ecuator. Din triunghiul *Ocb*, dreptunghic în *c*, se obține:

$$cb = Oc \text{ tg } \varphi,$$

iar din triunghiul *OQc*, dreptunghic în *Q*, rezultă:

$$Oc = R \sec \lambda,$$

deci:

$$cb = R \sec \lambda \text{ tg } \varphi \qquad (7\text{-}20)$$

În planul de proiecție, considerăm un sistem de axe rectangulare cu originea în *Q*, axa absciselor *x* fiind reprezentată de proiecția meridianului principal *pQp'*, iar axa ordonatelor *y* prin proiecția ecuatorului *eQe'*. În acest caz, coordonatele proiecției *b* (exprimate de relațiile 7-20 și 7-18) sunt:

$$x = R \sec \lambda \text{ tg } \varphi \text{ și } y = R \text{ tg } \lambda.$$

Punctul *B* fiind un punct curent al paralelului de latitudine φ, coordonatele de mai sus reprezintă ecuațiile parametrice, de parametru λ, ale curbei obținute prin proiecție. De la ecuațiile parametrice se poate trece la ecuația curbei în formă explicită, eliminând parametrul λ.

Ridicând la pătrat, din ecuația $x = R \sec \lambda \text{ tg } \varphi$ se obține:

$$\frac{x^2}{R^2 tg^2 \varphi} = \sec^2 \lambda,$$

iar din $y = R \text{ tg } \lambda$:

$$\frac{y^2}{R^2} + tg^2\, l.$$

folosind identitatea trigonometrică $\sec^2 \lambda = 1 + \text{tg}^2 \lambda$ și scăzând egalitățile de mai sus, membru cu membru, rezultă:

$$\frac{x^2}{R^2 tg^2 j} - \frac{y^2}{R^2} = 1 \qquad (7\text{-}21)$$

Ecuația (7-21) reprezintă ecuația canonică a unei hiperbole raportată la axele x și y, cu semiaxa mare $m = R \cdot \text{tg}\ \varphi$, semiaxa mică $n = R$ și semidistanța focală $q = \sqrt{m^2 + n^2} = R\sqrt{1 + tg^2 j} = R \sec j$

Pentru $\varphi = O$, hiperbola degenerează într-o dreaptă: proiecția ecuatorului este dreapta $yy'(= eQe')$.

Curba bab', reprezentând paralelul AA' de latitudine φ este deci un arc de hiperbolă, care are vârful în a, la distanța R tg φ de centrul proiecției, egală cu semiaxa mare și cu focarul în F, la distanța $FQ = R \sec \varphi = Oa$, de centrul proiecției.

Natura curbei bab', care reprezintă în proiecție paralelul de latitudine φ, se poate stabili și pe cale geometrică. Razele vizuale care pleacă din centrul Pământului spre infinitatea punctelor paralelelor de latitudine φ și $-\varphi$, formează un con de rotație cu două pânze, a cărui axă se confundă cu axa polilor tereștri (fig. 7-14).

Potrivit *teoremei lui Dandelin, secțiunea făcută de un plan într-un con de rotație este conică; dacă planul intersectează conul de rotație după două generatoare distincte, conica este o hiperbolă.*

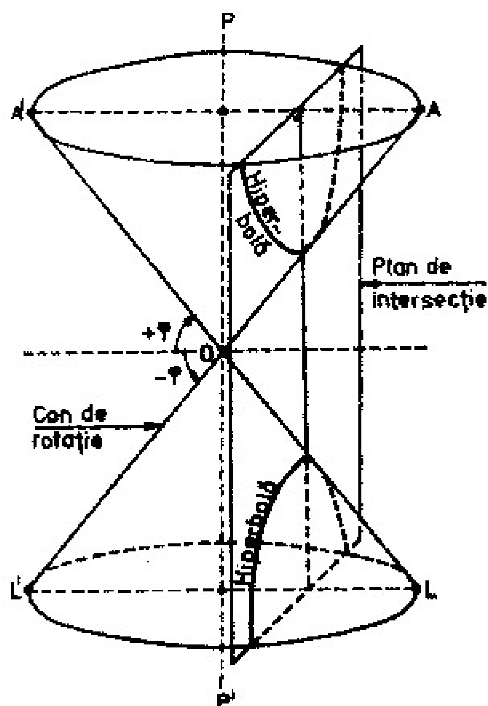


Fig. 7-14

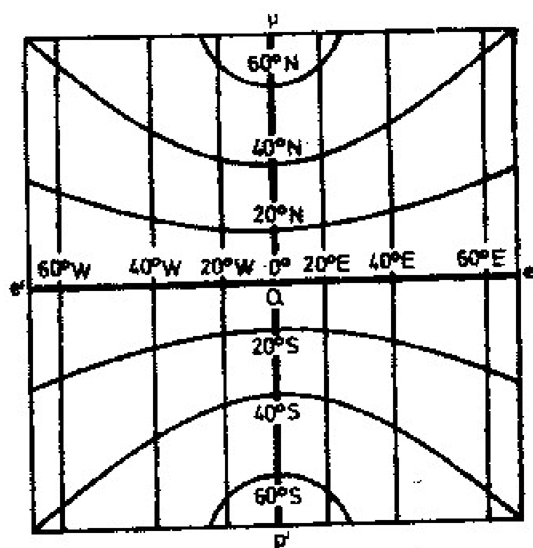


Fig. 7-15

În proiecția gnomonică ecuatorială, planul de proiecție este paralel cu axa conului de rotație generat de razele vizuale care pleacă din centrul Pământului spre infinitatea de puncte ale paralelelor de latitudine φ și $-\varphi$; intersecția conului de rotație cu planul de proiecție este de forma unor arce de hiperbolă.

În concluzie, în proiecția gnomonică ecuatorială, rețeaua cartografică apare astfel (fig. 7-15):

– ecuatorul apare ca o dreaptă;

– meridianele sunt reprezentate ca drepte, paralele între ele și perpendiculare pe ecuator. Meridianele se depărtează de meridianul principal al proiecției proporțional cu tangenta diferenței de longitudine:

– paralelele apar ca arce de hiperbolă, având vârfurile și focarele situate pe dreapta care reprezintă meridianul principal.

Punctul Q de pe ecuator reprezintă centrul proiecției.

Harta în proiecție gnomonică ecuatorială are două scări:

– scara longitudinilor, pe proiecția ecuatorului *eQe'*;

– scara latitudinilor, de-a lungul proiecției meridianului principal *pQp'*.

Ortodroma care unește două puncte de pe sfera terestră, ca orice arc de cerc mare, apare în proiecția gnomonică ecuatorială ca o dreaptă

Proiecția gnomonică ecuatorială, ca toate celelalte proiecții gnomonice, nu respectă condiția de conformitate și nici cea de echivalență.

3 Proiecția gnomonică polară

În proiecția gnomonică polară, planul de proiecție este tangent la unul din polii sferei terestre; punctul central al proiecției este deci unul din polii Pământului (fig. 7-16 *a*).

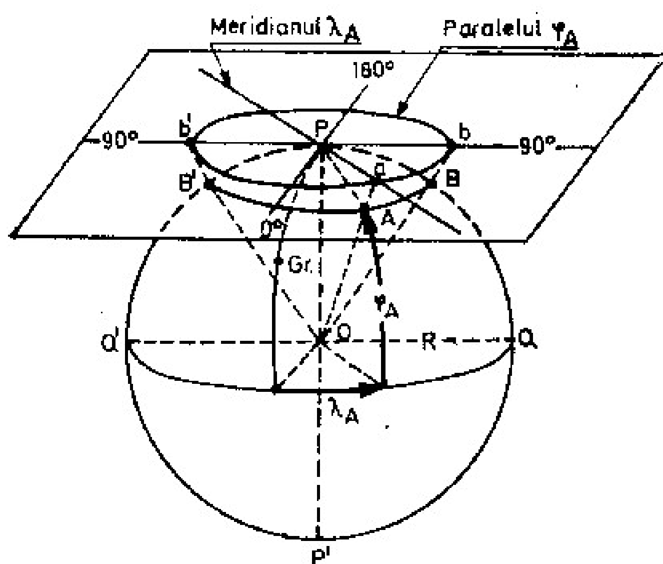


Fig. 7-16 a

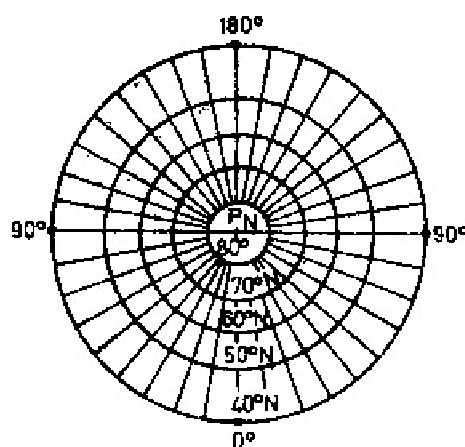


Fig. 7-16 b

Meridianele apar ca drepte de intersecție dintre planul de proiecție și planele meridianelor respective, orientate radial față de centrul proiecției longitudine dintre ele; acest unghi este determinat de unghiul diedru dintre planele celor două meridiane, prin intersecția cu planul de proiecție, care este perpendicular pe primele două.

Imaginea unui paralel de latitudine φ, în proiecție, este rezultatul intersecției planului de proiecție cu conul de rotație drept cu vârful în *O*, determinat de totalitatea razelor vizuale care pleacă din centrul sferei terestre spre punctele paralelului

considerat; paralelele apar deci ca cercuri concentrice cu centrul în P. Raza circumferinței Pa se obține din triunghiul OPa, dreptunghic în P:

$$Pa = OP \text{ tg } \sphericalangle POa = OP \text{ tg } (90° - \varphi)$$

sau:

$$Pa = R \text{ ctg } \varphi \tag{7-22}$$

Relația (7-22) arată că rețeaua de paralele este formată de un ansamblu de cercuri concentrice, ale căror raze cresc proporțional cu cotangenta latitudinii (fig. 7-16 *b*); ecuatorul nu poate fi reprezentat în proiecție, fiind proiectat la infinit ctg $0° = \infty$).

Rețeaua cartografică în proiecție gnomonică polară apare astfel:

– meridianele ca drepte convergente spre pol;

– paralelele ca cercuri concentrice, a căror rază crește proporțional cu ctg φ.

Ortodroma care unește două puncte de pe sfera terestră apare ca dreaptă de intersecție dintre planul cercului mare respectiv cu planul de proiecție.

4 Proiecția gnomonică oblică

În proiecția *gnomonică oblică*, denumită și *zenitală* sau *orizontală*, planul de proiecție este tangent într-un punct oarecare T de coordonate φ_0 și λ_0 al sferei terestre (fig. 7-17 *a*), care constituie *centrul proiecției*. Meridianul $PTOP'$ reprezintă *meridianul principal al proiecției*.

Meridianul principal este reprezentat în proiecție prin dreapta pTq, iar ecuatorul prin dreapta $q'qq''$, reciproc perpendiculare.

În planul de proiecție considerăm un sistem de axe rectangulare cu originea în T, axa ordonatelor yTy' fiind reprezentată de proiecția meridianului principal, iar axa absciselor xTx' perpendiculară pe aceasta în centrul proiecției T (fig. 7-17 *b*).

Pe sfera terestră de rază R presupunem un punct oarecare M, de coordonate φ și λ, a cărui proiecție este m. Se demonstrează că, coordonatele rectangulare ale punctului m în sistemul de axe $x\,T\,y$ sunt:

$$x = R\frac{\cos\varphi \sin\Delta\lambda}{\sin\varphi\ \sin\varphi_0 + \cos\varphi\ \cos\varphi_0\ \cos\Delta\lambda} \tag{7-23}$$

$$y = R\frac{\sin\varphi\cos\varphi_0 - \cos\varphi\sin\varphi_0\cos\Delta\lambda}{\sin\varphi\sin\varphi_0 + \cos\varphi\cos\varphi_0\cos\Delta\lambda} \tag{7-24}$$

Polul P al emisferei terestre în care se află centrul proiecției se proiectează în punctul p, a cărui distanță față de T se obține din triunghiul OTp, dreptunghic în T:

$$Tp = OT \text{ tg } \sphericalangle TOP = R \text{ tg } (90° - \varphi_0) = R \text{ ctg } \varphi_0.$$

Coordonatele proiecției polului p în sistemul de axe xTy sunt:

$$x = 0 \text{ și } y = R \text{ ctg } \varphi_0.$$

Din triunghiul OTq, dreptunghic în T, se poate determina distanţşa Tq de la centrul proiecţiei la ecuator:

$$Tq = OT \operatorname{tg} \varphi_0.$$

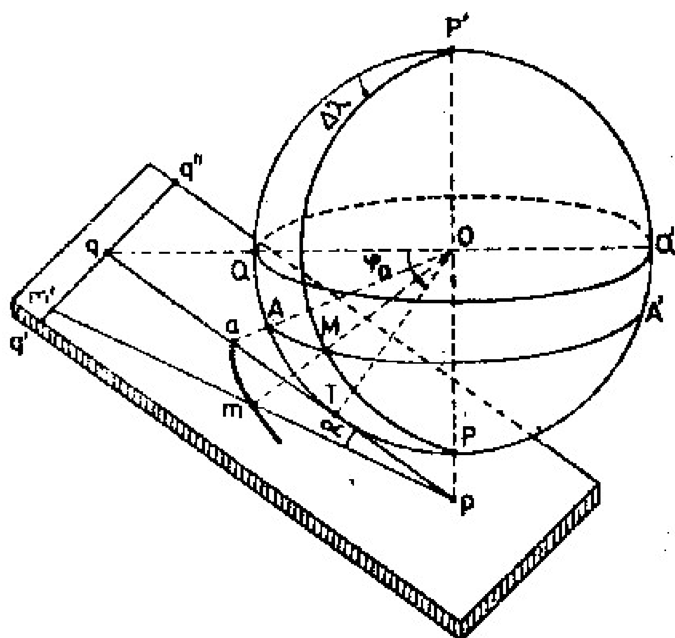


Fig. 7-17a

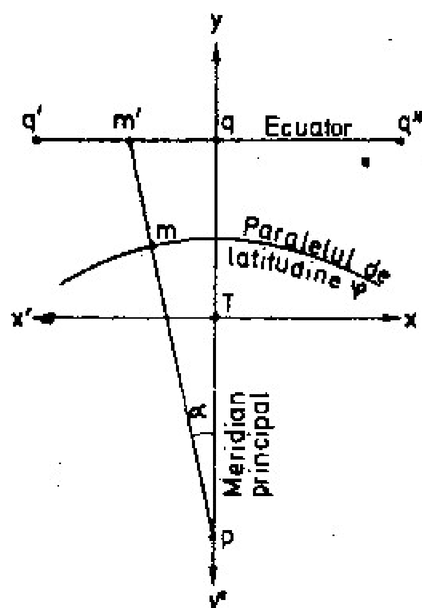


Fig. 7-17 b

Dreapta de proiecţie a ecuatorului $q'q\,q''$, perpendiculară pe axa $y\,T\,y'$, are deci ordonata:

$$y = Tq = R \operatorname{tg} \varphi_0.$$

Meridianele sferei terestre sunt reprezentate ca drepte convergente spre imaginea p a polului.

Unghiul α, format între proiecţia meridianului principal pTq şi cea a unui meridian oarecare pmm' este exprimată de relaţia:

$$\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} \Delta\lambda \sin \varphi_0.$$

Trasarea proiecţiei unui meridian oarecare de longitudine λ se face unind imaginea polului p cu punctul de interesecţie m' a meridianului respectiv cu ecuatorul. Coordonatele punctului m' aflat pe ecuator, în sistemul de axe xTy, se deduc din ecuaţiile (7-23 şi 7-24);

$$x' = R \operatorname{tg} \Delta\lambda \sec \varphi_0 \text{ şi } y' = -R \operatorname{tg} \varphi_0,$$

ştiind că m' are $\varphi = 0$.

Paralelele de latitudine apar în proiecţie ca nişte conice, a căror axă mare este proiecţia meridianului principal; ecuaţiile acestora pot fi obţinute eliminând longitudinea λ din expresiile (7-23 şi 7-24).

O asemenea conică este determinată de interesecţia planului de proiecţie cu conul de rotaţie generat de totalitatea razelor vizuale care pleacă din centrul sferei

terestre spre infinitatea de puncte ale unui paralel oarecare de latitudine φ. Forma conicei ce reprezintă un anumit paralel de latitudine φ este funcție de valoarea latitudinii și de înclinarea planului de proiecție față de axa conului de rotație, care se confundă cu axa polului *OP*; această înclinare este exprimată de unghiul *TOP* format între verticala centrului proiecției *T* și axa polului *P*, care este egală cu *colatitudinea centrului proiecției* ($\sphericalangle TOP = 90° - \varphi_0$).

Aplicând teorema lui Dandelin, în scopul de a stabili forma conicei sub care apare un paralel oarecare de latitudine, în proiecție gnomonică oblică, se conclud următoarele (fig. 7-18):

– dacă $\varphi > 90° - \varphi_0$, paralelul apare de forma unei elipse;

– dacă $\varphi = 90° - \varphi_0$, paralelul apare de forma unei parabole;

– dacă $\varphi < 90° - \varphi_0$, paralelul apare de forma unei hiperbole.

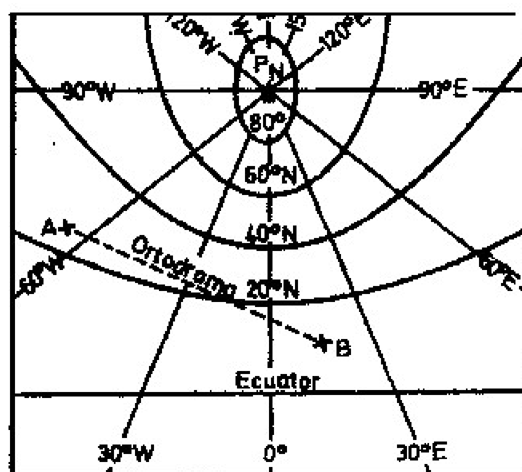


Fig. 7-18

Figura 7-18 reprezintă proiecția gnomonică oblică cu centrul proiecției într-un punct de latitudine nordică situat pe meridianul zero; în această proiecție rețeaua cartografică apare astfel:

– meridianul principal, ca dreaptă perpendiculară pe ecuator;

– meridianele, ca drepte convergente spre pol. Meridianele cu o diferență de longitudine de 90° față de meridianul principal sunt perpendiculare pe acesta;

– paralele apar ca o rețea de conice.

Ortodroma ce unește două puncte *A* și *B* de pe suprafața sferei terestre apare ca o dreaptă care taie meridianele sub unghiuri diferite.

5 Proprietățile hărții în proiecție gnomonică și folosirea acesteia în navigație

a – Proprietatea fundamentală a proiecției gnomonică este reprezentarea arcelor de cerc mare, a ortodromei ce leagă două puncte de pe sfera terestră, ca drepte. Aceste fapt face ca proiecția gnomonică să mai fie denumită și *proiecție ortodromică*.

Proiecția gnomonică oferă posibilitatea determinării drumului ortodromic, care reprezintă drumul cel mai scurt între două puncte pe sfera terestră; de aceea, hărțile gnomonice au o largă utilizare în *navigație ortodromică*, între puncte situate la distanțe mari, separate de diferențe de longitudine apreciabile. Detaliile aplicative ale folosirii hărților gnomonice în navigația ortodromică se prezintă în capitolul 34.

b – Proiecția gnomonică nu este conformă, deci nu face posibilă măsurarea drumurilor și a relevmentelor.

Scara latitudinilor nu este uniformă, astfel că nu permite măsurarea distanțelor ortodromice; fac excepție proiecțiile gnomonice la scară mare, care reprezintă zone restrânse în apropierea centrului proiecției.

Proiecțiile gnomonice nu sunt echivalente.

c – Proiecția gnomonică polară se pretează în bune condițiuni la întocmirea hărților reprezentând zonele de latitudini mari; pentru ca aceste hărți să fie utilizabile în navigație, se întocmesc la scări mari, reprezentând suprafețe limitate în apropierea centrului proiecției.

Proiecția gnomonică oblică și cea ecuatorială își găsesc o largă aplicare la întocmirea hărților gnomonice destinate navigației ortodromice.

§9 Proiecția stereografică ecuatorială

În proiecțiile stereografice ochiul observatorului se consideră într-un punct pe suprafața sferei terestre, iar proiecția se efectuează pe un plan tangent la antipod sau pe un plan care trece prin centrul Pământului.

Proiecția stereografică prezintă interes pentru întocmirea hărților de navigație ce reprezintă zonele polare, precum și a hărților emisferelor terestre și a navigației cerești.

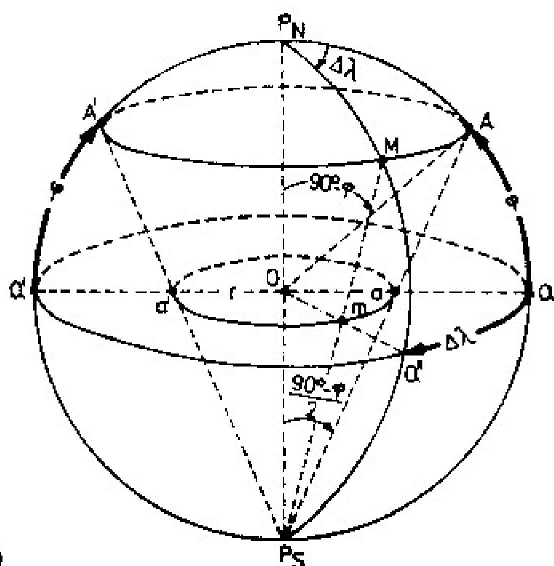


Fig. 7-19

În proiecția stereografică ecuatorială (fig. 7-19), ochiul observatorului se consideră în unul din poli, iar planul de proiecție trece prin centrul sferei terestre (confundându-se cu planul ecuatorului).

Pentru a obține de exemplu proiecția emisferei terestre nordice, ochiul observatorului se consideră în Polul sud terestru (P_S), proiecția efectuându-se pe planul ecuatorului QQ'(fig. 7-19).

Polul nord terestru (P_N) se proiectează în O, care constituie centrul proiecției; punctul A al paralelului AA' de latitudine φ se proiectează în a; punctul M de pe același paralel, în m etc. Acest sistem,în care planul de proiecție este interpus între ochiul observatorului și punctul de proiectat se numește *proiecție prin inversiune;* de a constituie proiecția prin inversiune a punctului A.

Meridianul P_NAP_S se proiectează pe dreapta radială OQ; meridianul P_NMP_S, pe dreapta OmQ''. Rezultă că meridianele apar ca niște drepte convergente spre centrul proiecției.

Unghiul sferic AP_NM, egal cu diferența de longitudine $\Delta\lambda$ a punctelor A și M, este reprezentat în proiecție de unghiul aOm, egal cu $\Delta\lambda$; proiecția stereografică ecuatorială menține deci diferențele delongitudine a punctelor reprezentate.

Paralelul oarecare AA'este proiectat pe cercul aa'cu centrul în O; el reprezintă cercul de intersecție dintre conul de rotație AP_SA', generat de razele vizuale care pleacă din ochiul observatorului spre infinitatea de puncte ale paralelului de latitudine φ, cu planul de proiecție QQ', perpendicular pe axa acestui con. Din triunghiul $a\ OP_S$, dreptunghic în O, se obține:

$$Oa = OP_S \operatorname{tg} \sphericalangle\ OP_Sa$$

Însă $\sphericalangle\ OP_Sa = \frac{P_NOA}{2} = \frac{90^\circ - \varphi}{2}$; considerând $Oa = r$ (raza proiecției paralelului de latitudine φ) și $OP_S = R$ (raza sferei terestre), se poate scrie:

$$r = R \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{90^\circ - \varphi}{2}\right) = R \operatorname{tg}\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right) \qquad (7\text{-}25)$$

Relația (7-25) exprimă raza cercului de proiecție care reprezintă paralelul de latitudine φ. În proiecție, ecuatorul se menține același:

$\varphi = 0$, deci $r = R \operatorname{tg} 45^\circ = R$ (știind că $\operatorname{tg} 45^\circ = 1$).

Pentru a vedea în ce relație se află unghiurile din proiecție, în raport cu cele de pe sfera terestră, considerăm de exemplu unghiul D (= drumul navei), format între meridianul P_NA și loxodroma AB (fig. 7-20 *a*).

Pentru facilitarea discuției considerăm raza sferei terestre $R = 1$, punctele AB infinit apropiate, iar triunghiul ABC (format de loxodroma AB, arcul de paralel BC și arcul de meridian AC), infinit mic. În aceste condiții triunghiul ABC de pe sfera terestră, dreptunghic în C, se poate considera plan; așa cum apare din relația (7-5):

$$\operatorname{tg} D = \frac{d\,\lambda \cos\varphi}{d\,\varphi}$$

Figura 7-20 *a* apare în proiecție în forma prezentată în figura 7-20 *b*; Oa și Ob, proiecția meridianelor P_NA și P_NB; bc, proiecția arcului de paralel BC de latitudine φ; $Ob = Oc$, raza paralelului de latitudine φ; D', proiecția unghiului D. Unghiul D'se

obține din triunghiul infinit mic *abc*, dreptunghic în *c* (*cb* și *ca* considerându-se segmente de dreaptă infinit mici):

$$\operatorname{tg} D' = \frac{cb}{ca}$$

Din figura 7-20 *b* se deduc următoarele:

$cb = d\lambda \cdot \operatorname{tg}\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right)$, unde $d\lambda$ este unghiul la centru format între proiecțiile meridianelor infinit apropiate *Oa* și *Ob*, reprezentând totodată și măsura arcului de ecuator cuprins între aceleași meridiane (raza sferei terestre fiind considerată $R = 1$);

$Oc = Ob = \operatorname{tg}\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right)$, raza proiecției paralelului de latitudine φ;

Segmentul infinit mic *ca* se obține din diferențiala expresiei care dă raza *Oc*:

$$ca = d\ \operatorname{tg}\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right) = -\frac{1}{2\cos^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right)} d\varphi = -\frac{d\varphi}{2\cos^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right)}.$$

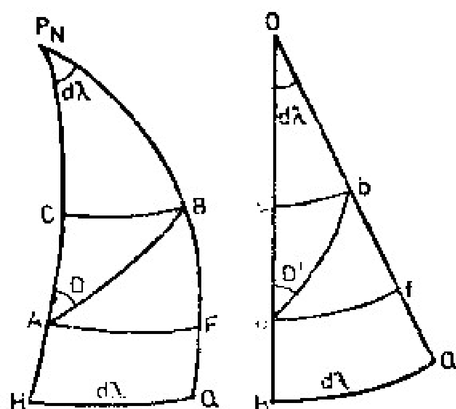


Fig. 7-20a Fig. 7-20 b

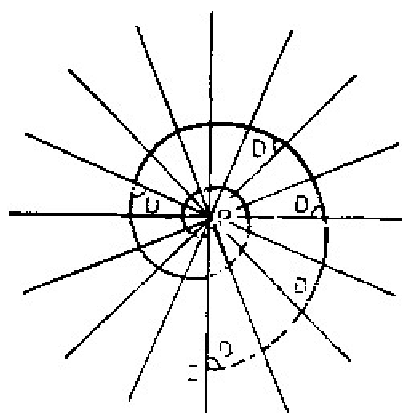


Fig. 7-21

Făcând abstracție de semnul relației care exprimă segmentul *ca*, deoarece nu prezintă importanță și înlocuind în egalitatea (7-26), obținem unghiul D′:

$$\operatorname{tg} D' = \frac{d\lambda \operatorname{tg}\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right)}{\dfrac{d\varphi}{2\cos^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right)}} = \frac{2\, d\lambda \sin\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right)\cos\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right)}{d\varphi} = \tag{7-27}$$

$$= \frac{d\lambda \sin 2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right)}{d\varphi} = \frac{d\lambda \sin(90^\circ - \varphi)}{d\varphi} = \frac{d\lambda \cos\varphi}{d\varphi}$$

Comparând expresiile (7-5) și (7-27) se constată că $D = D'$, unghiul din proiecție se menține egal cu cel de pe sfera terestră; *proiecția stereografică ecuatorială este deci conformă.*

În cele de mai sus am văzut că în proiecția stereografică ecuatorială:

– meridianele apar ca drepte convergente spre pol;

– unghiurile dintre proiecțiile meridianelor se mențin egale cu diferențele de longitudine dintre aceleași meridiane;

– proiecția este conformă; *rezultă că loxodroma este reprezentată printr-o curbă care taie toate meridianele sub același unghi, în forma unei spirale logaritmice* (fig. 7-21).

PARTEA A DOUA
Navigația estimată

Estima grafică
Estima prin calcul

PART II
Estimed navigation

8 ESTIMA GRAFICĂ

§1 Considerații asupra navigației estimate

Principiul determinării poziției navei pe hartă în navigația estimată este următorul: prin punctul Z_1 de coordonate cunoscute se trasează drumul adevărat *(Da)* urmat de navă (fig. 8-1); pentru a determina poziția navei Z_2, la un moment dat, se măsoară distanța *m* parcursă de navă de-a lungul drumului urmat, cu originea în Z_1; capătul Z_2 al segmentului, astfel determinat, reprezintă poziția navei.

Sistemul în care poziția navei este determinată cu ajutorul drumului urmat de navă și a distanței parcurse în intervalul de timp considerat, se numește *navigație estimată.*

Guvernarea navei între două puncte pe suprafața Pământului menținând același drum compas, face ca nava să descrie pe suprafața sferei terestre un *arc loxodromic*; de aceea, acest sistem de determinare a poziției navei mai este denumit și *navigație loxodromică.*

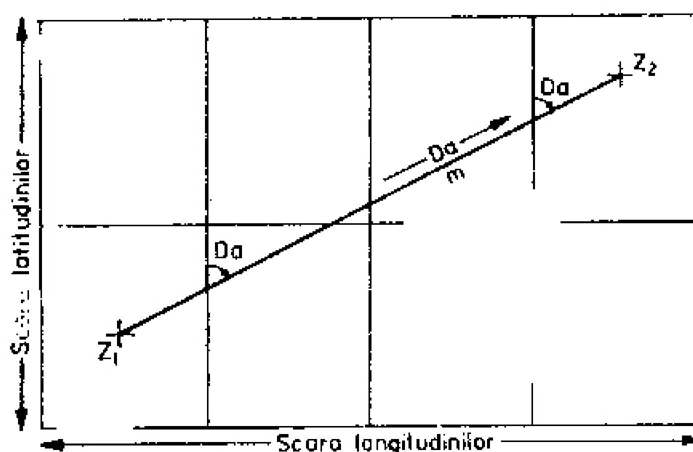


Fig. 8-1

În partea I, drumul navei a fost definit ca unghiul format între axa longitudinală a navei și meridianul locului. În practica navigației estimate, noțiunea de drumul navei capătă și sensul de direcția de deplasare *a navei,* adică urma pe care o lasă nava în deplasarea ei pe suprafața Pământului. În cazul menținerii unui drum constant între două puncte pe sfera terestră, direcția de deplasare a navei se confundă cu arcul loxodromic care leagă cele două puncte; în figura 8-1, pe harta Mercator, Z_1Z_2 reprezintă direcția și sensul de deplasare a navei, determinată de valoarea unghiulară a drumului adevărat *Da.*

Problemele navigației estimate se rezolvă pe două căi, denumite:

– *estima grafică*, care folosește procedee grafice de determinare a poziției navei pe hartă (cap.8);

– *estima prin calcul*, care soluționează problemele navigației estimate prin rezolvarea anumitor formule matematice, stabilite pe cale analitică (cap.9).

La bordul navelor maritime comerciale, în practica navigației estimate, problemele curente sunt rezolvate pe calea estimei grafice. Procedeele estimei prin calcul sunt folosite în cazurile când pentru rezolvarea problemelor navigației estimate nu se dipune de hărți la scară mică, ce nu oferă o precizie satisfăcătoare estimei grafice; practic, această situație apare în navigația oceanică sau la traversade maritime pe distanțe mari.

Pentru a se realiza o navigație estimată precisă se impune cunoașterea temeinică a bazelor ei teoretice, a elementelor care condiționează precizia estimei și deprinderi sigure pentru aprecierea influenței lor asupra drumului navei și a distanței parcurse; obținerea unor asemenea deprinderi este rezultatul experienței pe mare, printr-un antrenament metodic și perseverent.

Precizia estimei este condiționată de acțiunea a o serie de factori, între care menționăm: curentul, vântul, valurile, acuratețea menținerii drumului compas de către timonieri, precizia indicațiilor compasurilor și lochurilor folosite la bord etc. Efectele însumate ale acestor factori determină o anumită deviere a direcției de deplasare a navei față de drumul adevărat pe care nava trebuie să-l urmeze, precum și o anumită variație a vitezei navei. Sarcina celor care concură la conducerea navei, a comandantului și a ofițerilor de cart, este de a determina și corecta efectul acestor influențe deviatoare (curent, vânt etc) asupra drumului navei și a distanței parcurse, astfel ca *punctul estimat* obținut să fie cât mai apropiat de poziția reală a navei; prin *punct estimat* înțelegem poziția navei determinată prin procedee ale navigației estimate.

Efectul vântului, valurilor și al curentului asupra drumului și vitezei este specific fiecărei nave; mai mult, efectul acestor factori este diferit chiar la aceeași navă funcție de pescaj și asietă (determinate de starea de încărcare), aliura față de vânt și val etc. De aceea, comandantul care concură la serviciul de cart trebuie să-și studieze cu atenție nava, să stabilească efectele diferiților factori asupra drumului și vitezei navei, pe bază de observație și calcul, în diferitele condiții de navigație și la diferite stări de încărcare.

Când se navigă prin strâmtori, în ape cu pericole hidrografice, pe hărți la scară mare, pentru a se realiza o navigație estimată precisă se impune a se ține seama de girația navei la schimbări de drum.

De asemenea, se impune ca aparatura folosită pentru determinarea drumului navei și a distanței parcurse, compasurile și lochurile de la bord, să fie menținute într-o stare perfectă de funcționare și utilizare; corecția compasurilor și a lochurilor trebuie determinată periodic și apoi verificată pe timpul navigației. Trebuie observată comportarea acestei aparaturi în diferite condiții de navigație și stabilit efectul diferiților factori asupra preciziei indicațiilor lor.

Performanțele preciziei realizabile în practica navigației la bordul unei nave sunt condiționate în măsură determinată de eficiența acestor preocupări, care trebuie să

conducă la cunoașterea comportării navei, a compasurilor și a lochurilor de la bord. Concluziile acestor observații se evidențiază cu grijă în *„Informarea pentru comandant"* , de valoarea unei documentații extrem de utile pentru comandanții și ofițerii noi veniți la bord.

Corecțiile care se aplică drumului și distanței parcurse de navă pentru efectul curentului și valurilor au menirea de a reduce eroarea punctului estimat. Precizia punctului estimat se verifică prin determinarea poziției navei cu observații ale sistemelor de navigație costieră, electronică sau astronomică; o poziție a navei astfel determinată se numește *punct observat*. *Eroarea punctului estimat* se exprimă prin direcția și distanța punctului observat față de cel estimat; direcția se măsoară pe hartă cu sensul de la punctul estimat spre cel observat.

Între punctele observate, atât în navigația la larg cât și cea costieră, navigația *este ținută la zi* prin procedee ale navigației estimate; *prin ținerea navigației la zi* înțelegem activitatea de determinare curentă a poziției și drumului pe care nava trebuie să-l urmeze în siguranță spre punctul de destinație. De aceea, *navigația estimată constituie sistemul de navigație de bază folosit în conducerea navei, atât la larg cât și în zona costieră.*

§2 Problema directă și inversă a estimei

În navigația estimată se pun spre rezolvare două probleme fundamentale, cunoscute sub denumirea de:

– *problema directă a estimei*, care se ocupă de determinarea poziției navei folosind drumul navei și distanța parcursă într-un anumit interval de timp;

– *problema inversă a estimei*, aplicată pentru determinarea drumului pe care nava trebuie să-l urmeze la deplasarea dintr-un punct în altul pe suprafața Pământului.

1 Problema directă a estimei

Se dă: poziția de plecare a navei, prin coordonatele ei geografice, drumul urmat de navă și distanța parcursă.

Se cere: determinarea punctului estimat al navei după deplasarea navei în drumul și la distanța dată.

Pentru explicarea modului de rezolvare pe hartă a problemei directe a estimei ne vom folosi de următorul exemplu:

Exemplul 1 (Fig. 8-2 extrasă din harta *„Kelibia to Tripoli"*).

La ora 08.10, $cl_1 = 32.2$ Mm se determină *punctul observat* al navei Z_1, având coordonatele $\varphi_1 = 33°01'$ N; $\lambda_1 = 13°07'.5$ E. Din acest punct se navigă în $Dg = 288°.5$ ($\Delta g = -1°.5$) până la ora 09.15; $cl_2 = 48.4$ Mm. Factorul de corecție al lochului = 1.03.

La ora 09.15 nava ia $Da = 265°$.

Să se determine punctul estimat al navei Z_2 la ora 09.15.

Rezolvare:

– se pune punctul observat Z_1 („punct de plecare") pe hartă cu ajutorul coordonatelor geografice. Alături de punctul care reprezintă poziția navei se notează ora și citirea la loch, sub formă de fracție; ora – la numărător și citirea la loch – la numitor;

– se calculează drumul adevărat al navei corespunzător $Dg = 288°.5$, în modul cunoscut:

$$\begin{aligned} Dg &= 288° \cdot 5 \\ +\Delta g &= \;\; -1° \cdot 5 \\ \hline Da &= 287° \cdot 0 \end{aligned}$$

– se trasează pe hartă drumul adevărat al navei (Da = 287°) din punctul de plecare Z_1;

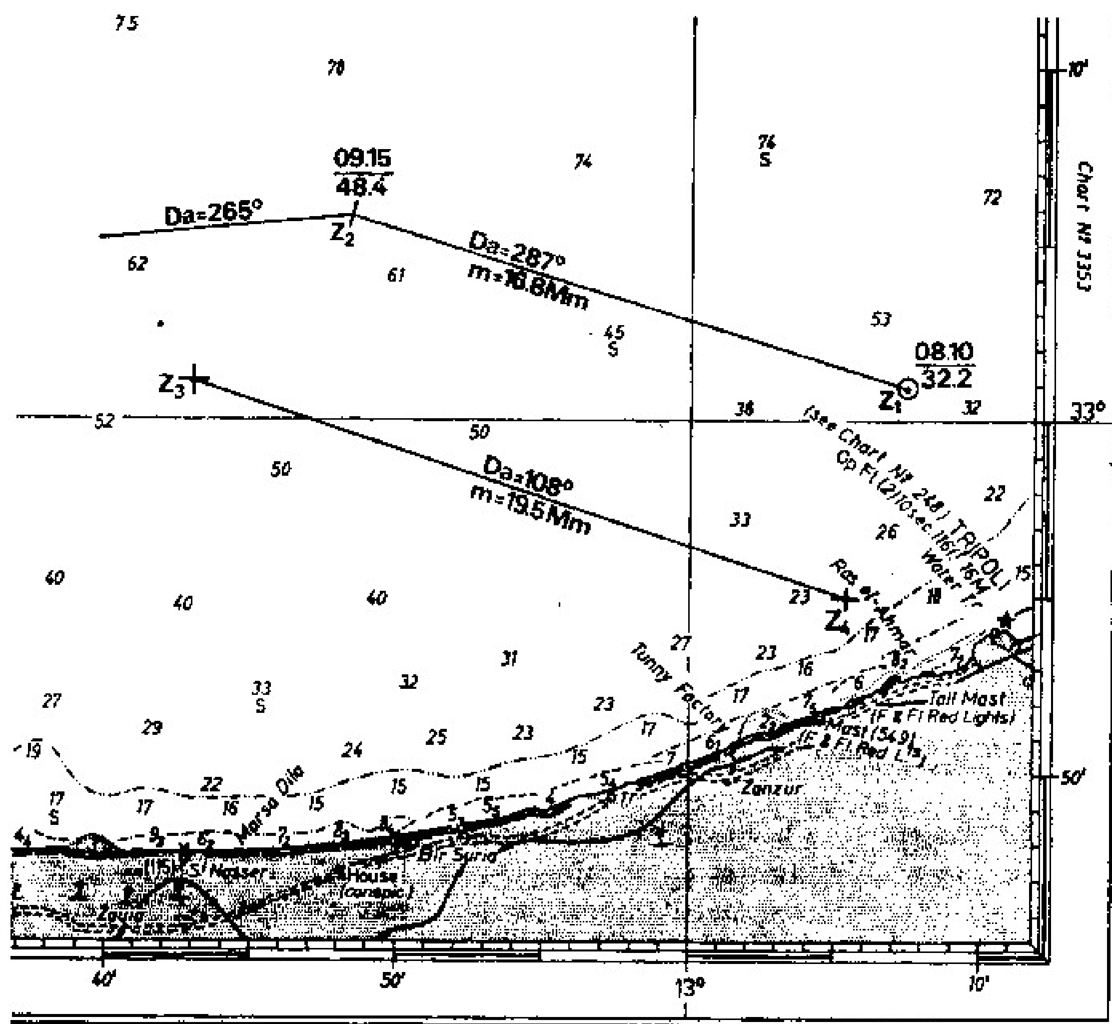


Fig. 8-2

– se calculează distanța m parcursă de navă din distanța loch ml și factorul de corecție al lochului:

$ml = cl_2 - cl_1 = 48 \cdot 4 - 32.2 = 16.2$ Mm;

$m = 16.2 \times 1.03 = 16.8$ Mm;

– cu o deschizătură de compas egală cu distanţa parcursă de navă (m = 16.8 Mm) între orele 08.10 şi 09.15 şi cu originea în Z_1, se intersectează drumul navei (direcţia de deplasare a navei determinată de Da=287°), în punctul Z_2.

Z_2 reprezintă punctul estimat al navei la ora 09.15; punctul estimat se însearnnă pe hartă printr-o liniuţă perpendiculară pe drumul navei. În dreptul lui se notează ora şi citirea la loch, în modul indicat mai sus.

Coordonatele punctului estimat Z_2 sunt: φ_2 = 33°05′.8 N; λ_2 = 12°48′.3 E;

– prin punctul estimat Z_2 se trasează drumul în care se continuă navigaţia (Da = 265°).

2 Problema inversă a estimei

Se dau coordonatele punctului de plecare şi ale celui de sosire.

Se cere: drumul parcurs pe care nava trebuie să-l urmeze între cele două puncte şi distanţa de parcurs.

Exemplul 2 (fig. 8-2).

O navă se află în punctul Z_3 de coordonate φ_3 = 33°01′ N; λ_3 = 12°43′E şi trebuie să se deplaseze în punctul Z_4, de coordonate φ_4 = 32°55′ N; λ_4 = 13°05′.3 E.

Se cere drumul pe care nava trebuie să-l ia pentru a se deplasa din punctul Z_3 în Z_4 şi distanţa de parcurs.

Rezolvare:

– se trece pe hartă punctul de plecare Z_3 şi cel de sosire Z_4 cu ajutorul coordonatelor lor geografice;

– se unesc cele două puncte şi se obţine direcţia de deplasare a navei. Se citeşte drumul adevărat al navei (Da = 108°), cu sensul de la punctul de plecare Z_3 spre punctul de sosire Z_4;

– cu o deschizătură de compas egală cu Z_3Z_4 se măsoară distanţa dintre cele două puncte (m = 19.5 Mm), pe scara latitudinilor.

§3 Deriva de curent. Probleme de curenţi

1 Generalităţi asupra curenţilor marini

Curenţii marini constituie obiectul de studiu al *oceanografiei*. În cele ce urmează se dau doar câteva elemente, necesare înţelegerii rezolvării problemelor de corectare a acţiunii curenţilor asupra drumului şi vitezei navei în navigaţia estimată. În practica navigaţiei la bordul navelor maritime comerciale, problemele de curenţi se rezolvă exclusiv pe cale grafică, pe hartă sau pe hârtie milimetrică; acest fapt m-a determinat să renunţ complet la prezentarea unor soluţii analitice de rezolvare a problemelor de curenţi.

Comparând procedeele grafice cu cele analitice de rezolvare a problemelor de curenţi, se conclude că precizia este aceeaşi; rezolvarea grafică prezintă avantajul unei mari operativităţi şi surse mai reduse de erori în stabilirea soluţiilor. Rezolvarea grafică pe hartă oferă şi avantajul prezentării imaginii geografice a situaţiei de

navigaţie, fapt deosebit de important când se navigă în apropierea coastei sau a unor pericole hidrografice.

Un curent marin este definit prin direcţie şi viteză.

Direcţia curentului este direcţia în care se deplasează masa de apă în raport cu fundul mării; se exprimă astfel: „curent la (sud)" sau „curent în direcţia (180°)" indicând deci sensul în care se deplasează masa de apă.

Viteza curentului este viteza cu care se deplasează masa de apă deasupra fundului mării; se exprimă în noduri.

Curenţii marini sunt de mai multe feluri:

– *curenţi permaneţi*, cum este *curentul Golfului (Golf stream)*, care traversează Atlanticul dinspre coasta Floridei spre coastele Europei, cu o viteză până la 4-5 Nd; curentul la est în Marea Mediterană de pe coasta de nord a Africii, format din *curentul Gibraltarului*, cu o viteză de 2-3 Nd de-a lungul coastei Marocului şi Algeriei; *curentul Bosforului*, dinspre Marea Neagră spre Marea Marmara, care atinge viteze până la 5 Nd. Viteza acestor curenţi nu este constantă, ea fiind influenţată îndeosebi de regimul vânturilor din zonă;

– *curenţi sezonieri*, cum sunt curenţii Oceanului Indian, generaţi sub acţiunea musonilor. Astfel, în perioada musonului de SW, în zona de SE a insulei Socotra, viteza curentului a atins valori până la 6-7 noduri;

– *curenţi occidentali*, generaţi în general de vânturile din zonă;

– *curenţi de maree*. Studiul curenţilor de maree, modul de determinare a elementelor lor şi particularităţile conducerii navei în apele cu maree sunt prezentate în cap. 33.

Direcţia şi viteza curentului se determină prin procedee de navigaţie, comparând poziţia estimată cu poziţia observată a navei pentru un moment dat.

Direcţia şi viteza curenţilor oceanici permanenţi şi sezonieri sunt redate într-o serie de documente nautice, între care menţionăm:

– *„Ocean passages for the world";*

– cărţile pilot (*„Sailing directions"*); pentru rezolvarea problemelor de curenţi în navigaţia oceanică, de foarte mare utilitate sunt *atlasele de curenţi*:

– *„Currents of the Indian Ocean"* (M.O. 392);

– *„South Pacific Ocean currents"* (M.O. 345);

– *„Quarterly surface current charts of the Atlantic Ocean"* (M.O. 466);

– *„Quarterly surface current charts of the Western North Pacific with mothly charlets of the China Seas"* (M.O. 485);

– *„Quarterly surface current charts of the Eastern North Pacific"* (M.O. 655).

Particularităţile navigaţiei în zonele de curenţi permanenţi şi sezonieri, în conducerea navei la traversade maritime şi oceanice, se trasează la cap. 34.

2 Deriva de curent

Considerăm o navă în punctul *A* (fig. 8-3), cu axa sa longitudinală pe direcţia *AL*, mergând în drum adevărat *Da* ∢NaAL cu viteza $\vec{V_t} = \overrightarrow{AB}$. Dacă nava s-ar deplasa numai sub acţiunea propulsorului propriu, într-o apă lipsită de curenţi şi în condiţiile unei atmosfere calme, fără vânt, după o oră s-ar afla în punctul *B*, iar după un interval de timp Δt în punctul *Z'*.

Dacă nava este supusă însă acțiunii unui curent de direcție și viteză $\overrightarrow{AE} = \overrightarrow{BC} = \vec{v}$, ea se deplasează pe o direcție și cu o viteză rezultantă $\overrightarrow{AC} = \vec{V} = \vec{V_t} = \vec{v}$.

În triunghiul vitezelor ABC, cei trei vectori care îl formează sunt:

$\overrightarrow{AB} = \vec{V_t}$ = *drumul și viteza navei prin apă*, constituind elementele de mișcare ale navei în raport cu masa de apă prin care se deplasează. Ca mărime unghiulară, *drumul prin apă (Da)* este egal cu unghiul format între direcția nord adevărat și axa longitudinală a navei. *Viteza prin apă* este viteza indicată de lochul navei;

$\overrightarrow{BC} = \vec{v}$ = *direcția și viteza curentului;*

$\overrightarrow{AC} = \vec{V}$ = *direcția și viteza navei deasupra fundului*, constituind elementele de mișcare reală a navei în raport cu fundul mării, deasupra căruia se deplasează. Cu alte cuvinte, vectorul *V* reprezintă elementele de mișcare reală a navei în raport cu Pământul.

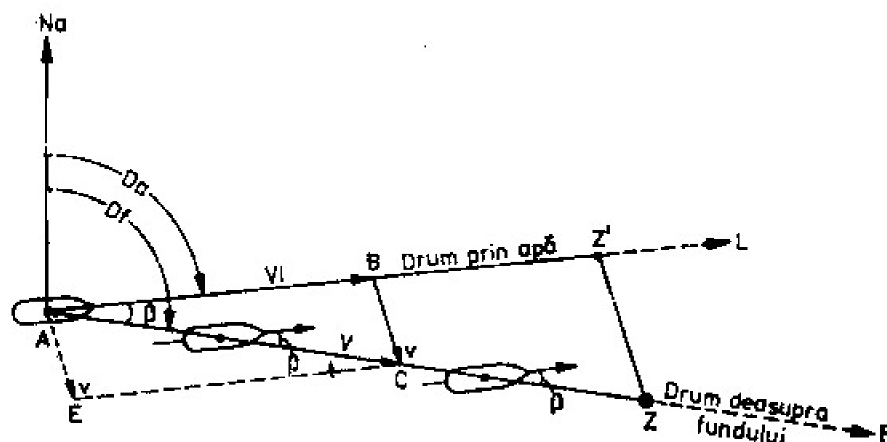


Fig. 8-3

Ca mărime unghiulară, *drumul deasupra fundului (Df)* este unghiul format între direcția nord adevărat și *direcția de deplasare a navei*. Drumul deasupra fundului între două puncte pe suprafața Pământului este drumul scos din hartă.

Unghiul format între axa longitudinală a navei și direcția ei de deplasare sub acțiunea curentului se numește *derivă de curent* (β). Relațiile dintre drumul navei prin apă *(Da)* și *drumul deasupra fundului (Df)*, în funcție de *deriva de curent* (β), se deduc din figura 8-3:

$$Df = Da + \beta \tag{8-1}$$

$$Da = Df - \beta \tag{8-2}$$

unde deriva de curent (β) se consideră:

– *pozitivă*, dacă nava este derivată la tribord (curentul din babord);

– *negativă*, dacă nava este derivată la babord (curentul din tribord).

După intervalul de timp Δt când nava s-ar fi găsit estimat în punctul *Z'*, sub acțiunea derivei de curent, poziția reală a navei este *Z*. În *triunghiul distanțelor AZZ'*,

AZ reprezintă distanţa parcursă de navă deasupra fundului în intervalul de timp Δt, iar AZ' – distanţa prin apă pe care nava ar fi parcurs-o dacă nu s-ar fi aflat sub acţiunea curentului v; intervalul de timp Δt este dat de relaţia:

$$\Delta t = \frac{\overline{AZ}}{\vec{V}} = \frac{\overline{AZ'}}{\vec{V}_l} = \frac{\overline{Z'Z}}{\vec{v}}$$

Direcţia şi distanţa ZZ' este *deriva navei* în intervalul de timp Δt şi reprezintă *eroarea în estimă* pe care ar fi conţinut-o punctul estimat Z', dacă nu s-ar fi ţinut seama de acţiunea curentului v. Deriva navei este în funcţie de viteza curentului, viteza navei, unghiul pe care îl face direcţia curentului cu axa longitudinală a navei (fiind maximă când acest unghi este de 90°) şi de intervalul de timp Δt. În cazul în care curentul acţionează paralel cu drumul navei prin apă, din prova sau din pupa, nu se provoacă nici o abatere laterală, ci numai micşorarea respectiv mărirea navei deasupra fundului, cu o cantitate egală cu viteza curentului.

3 Probleme de curenţi

Aşa cum s-a arătat mai sus, în navigaţia estimată, problemele de curenţi se rezolvă grafic pe hartă – când se navigă în apropierea coastei şi pe hârtie milimetrică, în navigaţia de larg; elementele de determinat se obţin prin rezolvarea grafică a triunghiului vitezelor (ABC) şi a triunghiului distanţelor (AZZ'). Modul de rezolvare a problemelor de curenţi, cu valoare aplicativă în navigaţia estimată, se explică cu ajutorul exemplelor date mai jos.

A – *Determinarea direcţiei şi vitezei curentului.*

Se consideră că nava pleacă dintr-un punct de coordonate cunoscute. Direcţia şi viteza curentului se stabilesc prin determinarea poziţiei navei cu observaţii, după un anumit interval de timp. Direcţia derivei navei, indicată de punctul observat în raport cu cel estimat, determină direcţia curentului ($Z'Z$, în fig.8-3); distanţa între cele două puncte raportată la intervalul de timp Δt determină viteza curentului.

Exemplul 3 (Fig. 8-4, extrasă din harta *„Rio Zambese to Porto de Mozambique”*).

În ziua de 7.04.1973 la ora 10.00 o navă se află în punctul observat A, de coordonate φ = 15°26′ S; λ = 40°53′E. Din acest punct se ia Da = 28°; viteza indicată de loch V_l = 16 Nd. Atmosfera este calmă. La ora 11.30 se determină punctul navei Z cu observaţii la farul *I-a de Goa: Ra* = 266°; distanţa d = 11.5 Mm

Se cere să se determine direcţia şi viteza curentului.

Rezolvare:

– prin punctul A, se trasează Da = 28°;

– se determină punctul estimat al navei B la ora 11.30. Distanţa parcursă în intervalul de timp Δt (= 1^h30^m) mergând cu V_l = 16 Nd este m = 24 Mm. Direcţia AB reprezintă drumul navei prin apă, distanţa AB = m = distanţa parcursă prin apă în

intervalul Δt (= 1^h30^m), mergând cu viteza prin apă (viteza indicată de loch) V_l = 16 Nd;

– se determină punctul observat al navei Z la ora 11.30 cu ajutorul relevmentului adevărat (=266°) și al distanței (=11.5 Mm), măsurate la farul *I-a de Goa. Direcția de deplasare a navei AZ* reprezintă *drumul deasupra fundului* (*Df* = 15°) deriva de curent β = 15° – 28° = –13°, la babord, care apare ca diferență dintre mărimile unghiulare ale drumului deasupra fundului și drumului prin apă ;

– latura *BZ* a triunghiului distanțelor *ABZ* reprezintă *deriva navei* (direcția 300°, distanța 5.5 Mm) sau eroarea în estimă, cauzată de curentul din zonă în intervalul de timp Δt (=1^h30^m).

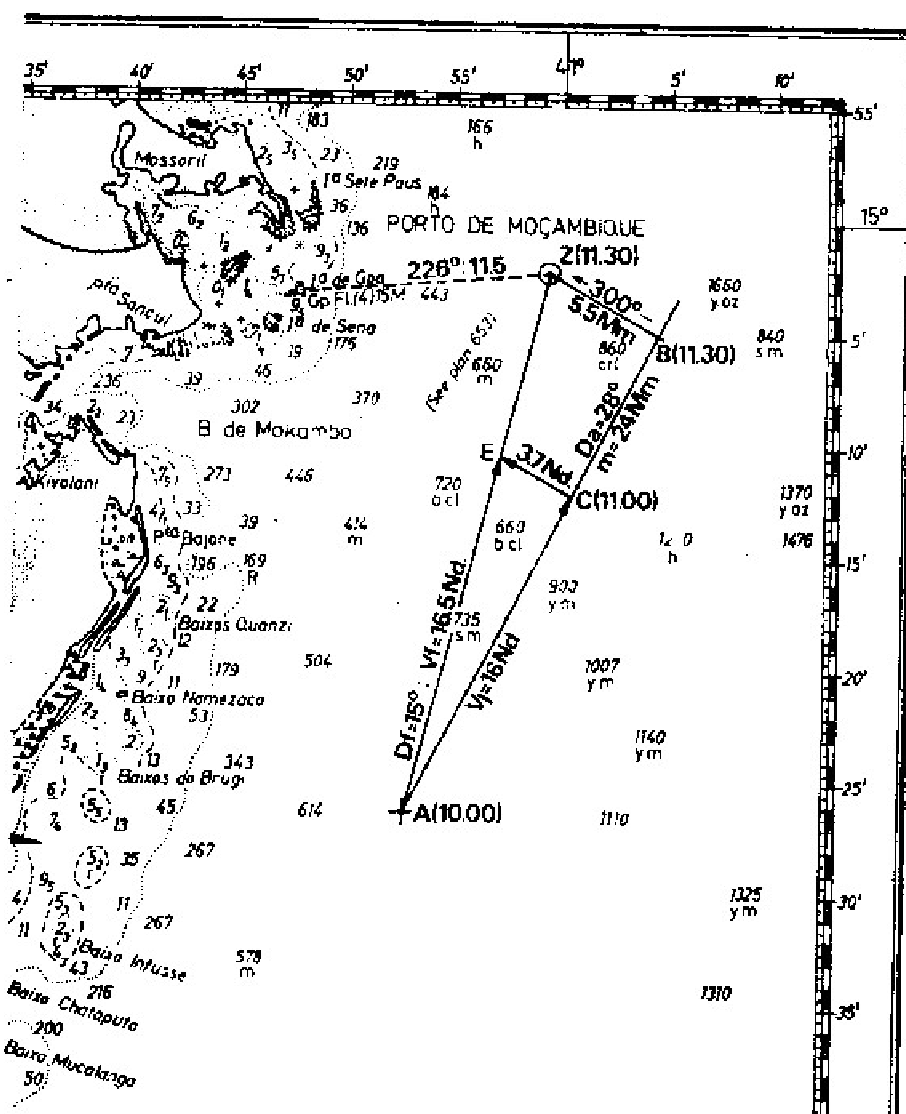


Fig. 8-4

Direcția BZ, cu sensul dinspre punctul estimat spre punctul observat al navei, reprezintă direcția curentului (=300°).

– se stabilește punctul estimat al navei *C* după o oră (11.00) de la plecarea din punctul *A*, știind că viteza prin apă V_l = 16 Nd. Se duce paralela la direcția curentului *BZ* (=300°) prin *C*, ca vârf al vectorului reprezentând viteza prin apă V_l și se obține

intersecţia E cu drumul deasupra fundului AZ (=15°). Triunghiul ACE reprezintă triunghiul vitezelor, în care CE = *direcţia (300°) şi viteza curentului* (=3.7 Nd); AE = drumul (15°) şi viteza deasupra fundului (=16.5 Nd) cu care nava s-a deplasat în intervalul de timp dintre orele 10.00-11.30.

B – *Se dă drumul deasupra fundului pe care nava trebuie să se deplaseze şi viteza prin apă. Se cere drumul prin apă şi viteza deasupra fundului.*

Este problema cea mai frecventă care se pune spre rezolvare în navigaţia prin zone cu curenţi. Nava trebuie să se deplaseze între două puncte A şi B (fig. 8-5) cu o anumită viteză prin apă ($\vec{V_l} = \overrightarrow{DE}$) care reprezintă viteza de exploatare a navei, în condiţiile existenţei unui curent $\overrightarrow{AD}$. Pentru ca nava să se menţină continuu pe direcţia determinată de drumul deasupra fundului AB trebuie să fie guvernată într-un drum prin apă AL, paralel cu DE, obţinut din triunghiul vitezelor ADE, care rezolvă relaţia vectorială : $\vec{V_l} = \vec{V} - \vec{v}$.

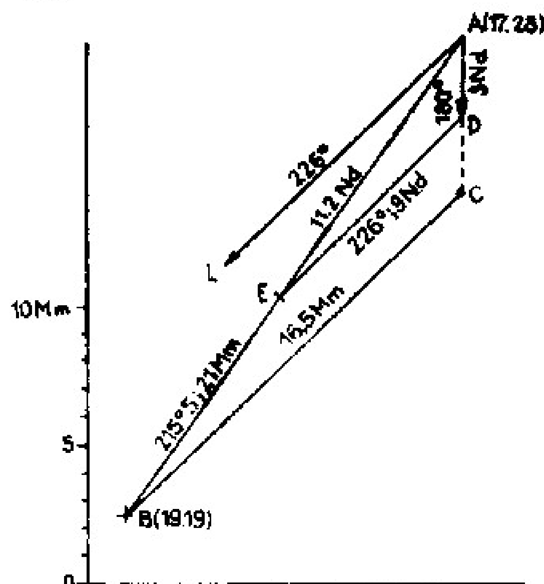


Fig. 8-5

Exemplul 4 (fig. 8-5). O navă pleacă din punctul A la ora 17.28 astfel ca să ajungă în punctul B, deplasându-se pe direcţia AB; viteza prin apă (viteza loch) = 9Nd. Direcţia curentului = 180°; viteza = 3 Nd.

Să se determine: drumul prin apă în care nava trebuie guvernată astfel ca să se menţină continuu pe direcţia AB (= drumul deasupra fundului) şi *viteza deasupra fundului cu care nava se deplasează între punctele A şi B.*

Rezolvare:

– se unesc pe hartă punctele A şi B, obţinându-se astfel drumul deasupra fundului de-a lungul căruia nava trebuie să se deplaseze (Df = 215°.5) şi distanţa care trebuie parcursă deasupra fundului (m =21 Mm);

– se trasează din A vectorul $\overrightarrow{AD}$, care reprezintă direcţia (=180°) şi viteza curentului (=3 Nd);

– cu o deschizătură de compas egală cu viteza navei prin apă ($\overrightarrow{DE} = \vec{V_l} = 9\text{Nd}$) și cu originea în *D*, se intersectează drumul deasupra fundului *AB*, în punctul *E*. Se obține astfel triunghiul vitezelor *ADE*, care conține elementele de determinat: $\overrightarrow{DE}$, *ca direcție, reprezintă drumul prin apă* (*Da*= 226°) în care nava trebuie guvernată; $\overrightarrow{AE}$, *ca mărime, este egal cu viteza deasupra fundului* (*V* = 11.2 Nd) cu care nava se deplasează între *A* și *B*;

– ducând paralela la $\overrightarrow{DE}$ (= V_l = 9 Nd) prin *B* se obține triunghiul distanțelor *ABC*, în care *CB* (= 16.5 Mm) reprezintă distanța prin apă, iar *AC* (= 5.4 Mm) – exprimă *deriva navei* în punctul de sosire *B*;

– intervalul de timp Δt necesar pentru ca nava să ajungă în punctul *B* se obține din unul din rapoartele:

$$\Delta t = \frac{\overline{AB}}{\overrightarrow{AE}} = \frac{\overline{CB}}{\overrightarrow{DE}}$$

Deci $\Delta t = \dfrac{21\,\text{Mm}}{11.2\,\text{Nd}} = \dfrac{16.5\,\text{Mm}}{9\,\text{Nd}} = 1^h51^m$; nava va sosi în punctul *B* la ora 19.19.

Prin guvernarea navei în drumul prin apă *AL*, paralel la *DE* (*Da* = 226°), nava se va menține continuu pe direcția determinată de drumul deasupra fundului *AB* (*Df* = 215°.5); sub acțiunea curentului $\overrightarrow{AD}$ nava se deplasează deasupra fundului cu viteza $\overrightarrow{AE}$ (*Vf* = 11.2 Nd) și va sosi în *B* după 1^h51^m.

C – *Se dă drumul și viteza prin apă. Se cere drumul și viteza deasupra fundului.*

Exemplul 5 (fig. 8-6). O navă pleacă la ora 10.00 din punctul *A*, drumul prin apă *AB* (*Da* = 90°) și viteza prin apă V_l = 9 Nd. Din hartă se stabilește existența în zonă a următorilor curenți de maree:

– ora 10.00 ... direcția = 125°; viteza = 3 Nd;

– ora 11.00 ... direcția = 155°; viteza = 3 Nd;

– ora 12.00 ... direcția = 175°; viteza = 3 Nd;

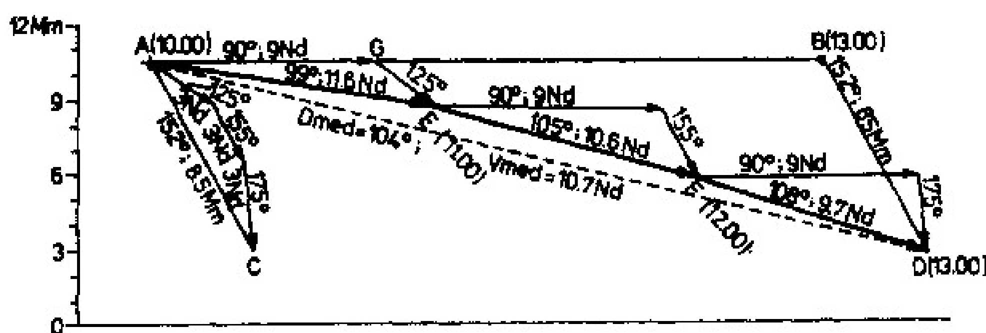


Fig. 8-6

Să se determine:

– drumurile și vitezele navei deasupra fundului, între orele 10.00 și 13.00;

– drumul mediu și viteza medie a navei între orele 10.00 și 13.00, ținând seama de acțiunea curenților indicați;

– deriva totală a navei în intervalul de timp 10.00–13.00.

Rezolvare:

Se trasează din A vectorul $\overrightarrow{AG}$ reprezentând drumul navei prin apă Da = 90° și viteza prin apă V_l = 9 Nd. Prin vârful vectorului $\overrightarrow{AG}$ se trasează vectorul $\overrightarrow{GE}$ reprezentând direcția 125° și viteza curentului 3 Nd în intervalul de timp dintre orele 10.00 și 11.00.

În triunghiul vitezelor AGE, vectorul rezultant $\overrightarrow{AE}$ reprezintă drumul deasupra fundului (Df = 99°) și viteza deasupra fundului (V = 11.6 Nd), cu care nava se deplasează între orele 10.00 și 11.00 sub acțiunea curentului $\overrightarrow{GE}$. Punctul E reprezintă punctul estimat al navei la ora 11.00.

Construcții grafice similare permit obținerea drumului *(Df)* și vitezei deasupra fundului *(V)* în următoarele intervale de timp, astfel:

– între 11.00 și 12.00 ... $\overrightarrow{EF}$ = 105°; 10.6 Nd;

– între 12.00 și 13.00 ... $\overrightarrow{FD}$ = 108°; 9.7 Nd.

Punctul D reprezintă punctul estimat al navei la ora 13.00, sub acțiunea curenților existenți.

Unind A cu D se obține drumul mediu 104°și viteza medie deasupra fundului 10.7 Nd, cu care nava s-a deplasat între cele două puncte; AD reprezintă distanța de-a lungul drumului mediu egală cu 32.1 Mm.

Deriva totală a navei între orele 10.00 și 13.00 este reprezentată de suma vectorială a celor trei curenți de maree, $\overrightarrow{AC} = \overrightarrow{BD}$ = 8.5 Mm în direcția 152°.

Punctul estimat al navei se obține și prin următoarea construcție grafică: se trasează drumul prin apă Da = 90° prin A și se determină punctul estimat B pentru ora 13.00, funcție de distanța parcursă prin apă $AB = V_l \cdot \Delta t$ = 9 Nd × 3 ore = 27 Mm; prin B se trasează segmentul BD, care reprezintă deriva totală a navei în intervalul 10.00 – 13.00 obținut prin compunerea vectorilor curenților de maree; AD reprezintă drumul mediu și distanța parcursă de navă între orele 10.00 și 13.00.

Acest gen de problemă se pune spre rezolvare în mod frecvent la bordul navelor de pescuit, pentru ținerea la zi a estimei în apele cu curenți, pe timpul operațiunilor de pescuit .

D – *Se dă drumul și viteza deasupra fundului. Se cere drumul și viteza prin apă.*

Exemplul 6 (fig. 8-7). La ora 09.14 o navă se află în punctul A. Direcția curentului 285°; viteza 3 Nd. Să se determine drumul și viteza prin apă cu care nava trebuie să se deplaseze, astfel ca la ora 10.00 să se afle în punctul B.

Rezolvare:

– se unesc punctele A și B, obținându-se astfel drumul deasupra fundului (Df = 157°) și distanța de parcurs deasupra fundului (AB = 13 Mm). Din distanța AB și timpul necesar parcurgerii acestei distanțe (10.00-09.14 = 46^{m}) se determină viteza deasupra fundului (V = 17 Nd);

– se trasează din A vectorul $\overrightarrow{AD}$ reprezentând direcția 285° și viteza curentului 3 Nd;

– cu o deschizătură de compas egală cu viteza deasupra fundului (V = 17 Nd) și cu originea în A, se intersectează direcția determinată de drumul deasupra fundului AB, în C.

Fig. 8-7

Se obține astfel triunghiul vitezelor ADC, în care *vectorul* $\overrightarrow{DC}$ *– ca direcție, reprezintă drumul prin apă (Da = 150°) pe care trebuie să-l ia nava , iar ca mărime, viteza prin apă* (V_l = *19 Nd).*

Luând drumul prin apă AL (Da = 150°), paralel cu $\overrightarrow{DC}$ și mergând cu viteza prin apă $\overrightarrow{DC}$ (V_l = 19 Nd), sub acțiunea curentului nava se deplasează de-a lungul direcției AB (Df = 157°) cu o viteză deasupra fundului de 17 Nd, elemente de mișcare care vor asigura sosirea în punctul B la ora 10.00.

Problema se pune spre rezolvare când se impune sosirea într-un punct oarecare la o anumită oră.

§4 Deriva de vânt

1 Generalități asupra vântului și valurilor

În perioada de glorie a velierelor, vântul avea un rol determinant în navigație și în general în conducerea navei. La navele moderne cu propulsie mecanică, vântul continuă să aibă o acțiune importantă atât la manevrarea navei, cât și în navigație; prin tradiție, din vremea navigației cu vele, marinarii din zilele noastre continuă să cultive preocuparea de „a simți vântul" în conducerea navigației și a manevrei navei, de a aprecia cât mai corect forța vântului și a acțiunii asupra navei.

Vântul este definit prin direcție și viteză.

Direcția vântului se consideră direcția din care bate vântul, deci direcția din care se deplasează masele de aer în raport cu direcția nord adevărat. Se exprimă în grade, în sistemul circular; astfel, prin „vânt de direcția 80°", se înțelege că vântul suflă din direcția 80°. La bordul navei, direcția vântului se măsoară cu ajutorul

alidadei, orientând-o paralel cu direcţia „manecii de vânt", a pavilionului, a fumului de la coşul navei etc...

Când direcţia vântului se stabileşte pe bază de apreciere, aceasta se exprimă în carturi, la precizia carturilor inter-intercardinale; de exemplu „vânt de NNE", înţelegându-se că vântul suflă din direcţia NNE.

Acţiunea vântului asupra direcţiei de deplasare şi a vitezei navei este în funcţie de direcţia vântului în raport cu axa longitudinală a navei, care se exprimă în două feluri:

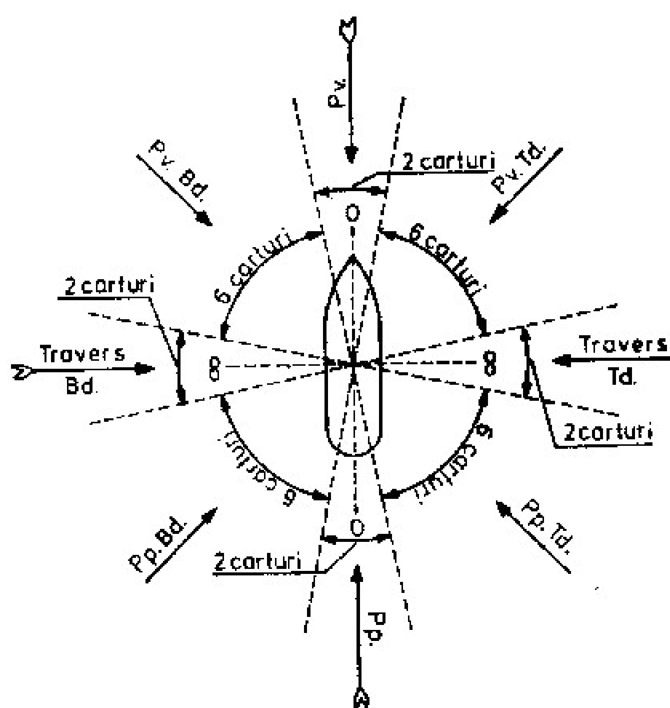


Fig. 8-8

– *în sistem cuadrantal, din prova sau pupa*, câte opt carturi spre tribord şi babord (fig.8-8). Direcţia vântului se stabileşte prin apreciere la prezicere de cart şi se exprimă astfel: „vântul de prova (pupa)", dacă direcţia vântului este cuprinsă dintr-un sector de două carturi în prova, respectiv pupa, „vântul de travers tribord (babord)", „vântul ... carturi din prova prova tribord (babord)" sau „vântul ... carturi din pupa tribord (babord)";

– *ca relevment prova*, exprimând direcţia vântului prin unghiul format între axa longitudinală a navei şi direcţia din care bate vântul. Direcţia vântului se măsoară cu ajutorul alidadei la un cerc azimutal şi se exprimă de regulă la precizie de multiplu de 10° sau cel mult de 5°.

Viteza vântului se măsoară cu *anemometrul* şi se exprimă obişnuit în metri pe secundă.

La bordul unei nave aflată în mişcare se observă *vântul aparent*, care este rezultanta *vântului real* şi a *vântului navei*; măsurătorile făcute pe comanda unei nave în mişcare determină elementele vântului aparent .

Vântul real este cel determinat de deplasarea reală a masei de aer; direcţia şi viteza vântului real se pot măsura în situaţia în care nava este staţionară.

Vântul navei este vântul determinat de rezistența opusă de masa de aer, prin care nava se deplasează. *Direcția vântului navei este de sens opus cu drumul navei și de viteză egală cu viteza navei*; elementele vântului navei pot fi măsurate la bord în condițiile în care atmosfera este calmă.

Direcția și viteza *vântului real* (V_R) se determină printr-o construcție grafică a triunghiului vitezelor (fig. 8-9), având doi vectori cunoscuți: *vântul aparent* (V_A), ale cărui elemente se măsoară în felul arătat mai sus și *vântul navei* $(-V_N)$, reprezentat printr-un vector egal și de sens contrar cu vectorul definit de mișcarea navei.

Exemplul 7 (fig. 8-9). Nava merge în *Da* = 0°, viteza 12 Nd. Direcția vântului aparent determinată cu compasul după „maneca de vânt"este de 280°; viteza vântului aparent 10 m/s, măsurată cu anemometrul. Se cere direcția și viteza vântului real.

Rezolvare:

– cu originea într-un punct *A*, considerat în planul diametral al navei, se trasează vectorul V_A reprezentând vântul aparent (direcția 280°; viteza 10m/s);

– cu aceeași origine, se trasează vectorul $-V_N$, reprezentând vântul navei. Direcția vântului navei (=180°) este opusă drumului navei (=0°); viteza în metri pe secundă a vântului navei este aproximativ egală cu jumătatea vitezei navei în noduri;

– se construiește triunghiul vitezelor *ABC* respectând relația vectorială $\vec{V}_A = \vec{V}_R + \vec{V}_N$, unind vârful vectorului $-V_N$ cu vârful vectorului V_A. *Vectorul BC* $(=V_R)$ *reprezintă direcția* (=246°) *și viteza vântului real* (=10.5 m/s).

Când vântul este suficient de puternic (începând de la forța 4), cea mai precisă determinare a direcției vântului real se obține prin măsurarea relevmentului la orientarea „firelor de spumă"care se formează la suprafața mării.

Viteza vântului real se exprimă obișnuit prin *forța vântului*, de la 0 la 12, stabilită prin *scara Beaufort*; această scară folosită în *meteorologia maritimă* este redată în *tabla 46* din *Tablele nautice MT-53.*

În practica serviciului la bord, la determinarea elementelor vântului real, se pune foarte mult bază pe apreciere. În lumea marinarilor, prin moștenire din perioada velierelor, se cultivă acest orgoliu profesional de a se realiza performanțe în aprecierea direcției și vitezei vântului la valori cât mai apropiate de realitate. Aceasta explică de ce doi navigatori experimentați, aflați pe comanda unei nave, exprimă obișnuit pe bază de apreciere aceeași forță a vântului și rareori cu o diferență de o unitate Beaufort.

Ofițerul de cart înscrie în jurnalul de bord, pe timpul cartului său, direcția și viteza vântului real.

Desigur că, pe lângă acțiunea nemijlocită a vântului, direcția de deplasare și viteza navei sunt influențate într-o măsură apreciabilă și de valuri. Valurile se formează sub acțiunea vântului, exercitată asupra suprafeței mării. Elementele care definesc valurile sunt:

– *lungimea*, egală cu spațiul măsurat pe direcția valului care separă două creste consecutive;

– *înălțimea*, egală cu spațiul în plan vertical între creastă și fundul valului;

– *perioada*, reprezentată de timpul în secunde între trecerile a două creste consecutive prin același punct;

– *viteza valului.*

Elementele valurilor depind de intensitatea vântului, de întinderea zonei maritime în care acţionează vântul, de distanţa de la coasta „din vânt" şi relieful ei, de adâncimea apei etc...

După „căderea vântului", înălţimea valului scade , lungimea creşte, creasta se rotunjeşte, luând astfel naştere *hula*; hula se poate propaga şi în zonele de calm din apropierea zonelor de vânt puternic. Este posibil deci, ca chiar în zonele de calm, direcţia de deplasare şi viteza navei să fie influenţate prin existenţa hulei.

În jurnalul de bord al navelor maritime comerciale se înscriu direcţia valului sau a hulei şi starea mării. *Starea mării* este reprezentată de gradul ondulaţiilor de la suprafaţa apei şi se exprimă pe bază de apreciere printr-o scară de la 0 la 9.

Acţiunea vântului şi a valurilor asupra direcţiei de deplasare şi a vitezei navei constituie un fenomen complex, diferit de la navă la navă şi chiar la aceeaşi navă, funcţie de starea de încărcare (de pescaj şi asietă), precum şi de alura faţă de vânt şi val.

2 Acţiunea vântului şi a valurilor. Deriva de vânt

La vânt şi val din prova se produce o reducere a vitezei navei. Până la forţa 4, acţiunea vântului se consideră neînsemnată, la viteze superioare ale vântului reducerea vitezei navei sub acţiunea vântului şi a valurilor creşte. Nava devine mai instabilă la drum, abaterile de la drum într-un bord şi în altul („ambardee") se amplifică; pentru menţinerea navei la drum trebuie să se facă uz de unghiuri de cârmă mărite. La vânt de forţa 10 din prova, de exemplu, şi val corespunzător, pierderea din viteză poate să ajungă până la 30% – 80%, în funcţie de mărimea navei, forma ei, starea de încărcare etc.

La vânt şi val din pupa se cauzează de asemenea o variaţie a vitezei navei. Până la o anumită forţă a vântului se realizează o oarecare creştere a vitezei; depăşindu-se însă această limită, odată cu creşterea valului se constată o reducere a vitezei navei. Se manifestă o instabilitate evidentă la drum a navei, cu ambardee pronunţate şi necesitatea folosirii de unghiuri mărite de cârmă pentru asigurarea guvernării ei.

La vânt dintr-un bord sau altul, vântul şi valul acţionează atât asupra direcţiei de deplasare, cât şi a vitezei navei, funcţie de forţa vântului şi unghiul pe care îl formează cu axa sa longitudinală. Considerăm o navă în punctul A (fig. 8-10), cu vântul aproape de travers babord, având un drum prin apă egal cu $\sphericalangle NaAL$. Sub acţiunea vântului şi a valurilor, direcţia de deplasare a navei devine AF; astfel, când poziţia estimată a navei în condiţii de calm ar trebui să fie B' sub acţiunea vântului şi a valurilor nava se află în punctul B, fiind derivată pe direcţia şi la distanţa$B' B$; după un alt interval de timp nava ocupă poziţia C, fiind derivată la distanţa $C' C$ etc.

Direcţia şi viteza reală de deplasare a navei în raport cu fundul mării, ca şi în cazul navigaţiei în ape cu curenţi, se numeşte *drum şi viteză deasupra fundului;* ca mărime unghiulară, *drumul deasupra fundului Df* este unghiul format între direcţia nord adevărat şi direcţia de deplasare a navei.

Drumul deasupra fundului sub acțiunea vântului și a valurilor diferă față de *drumul prin apă* (direcția determinată de axa longitudinală a navei) cu un unghi egal cu *deriva de vânt* (α). *Deriva de vânt* (α) *este deci unghiul format între axa longitudinală a navei și direcția determinată de drumul deasupra fundului sub acțiunea vântului și valurilor;* în cazul existenței unei derive de vânt, nava se deplasează de-a lungul drumului deasupra fundului efectuând o mișcare de translație, cu axa sa longitudinală într-o direcție decalată de un unghi egal cu *unghiul de derivă* (α).

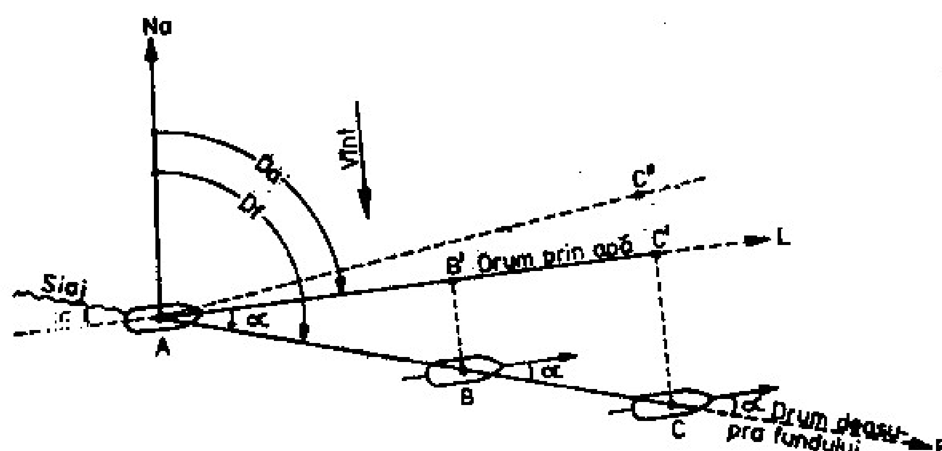


Fig. 8-10

Factorii principali care influențează mărimea derivei de vânt sunt următorii:

– *forța vântului.* Deriva de vânt crește cu forța vântului și mărimea valurilor generate de vânt;

– *direcția vântului în raport cu axa longitudinală a navei.* Deriva maximă este provocată la vânt de travers și scade pe măsură ce unghiul dintre direcția vântului și axa longitudinală a navei se reduce;

– *suprafața velică* expusă de corpul și suprastructurile navei. Deriva crește cu suprafața velică;

– *viteza navei.* Derivata de vânt variază invers cu viteza navei;

– *pescajul navei.* Cu cât pescajul navei este mai mare cu atât rezistența laterală opusă carenei este mai mare și deriva de vânt scade.

Asieta navei și repartiția longitudinală a suprafeței velice determinată de forma corpului navei, de forma și dispunerea longitudinală a suprastructurilor ei, influențează în măsură apreciabilă comportarea navei pe vânt și stabilitatea ei la drum, astfel:

– navele cu o asietă normală (pescajele prova și pupa egale) sau cu o ușoară apupare și o repartizare longitudinală relativ uniformă a suprastructurilor (cazul navelor „cu trei castele") sunt în general *nave ușor ardente* în condiții de vânt sau *echilibrate*. Prin *navă ardentă* se înțelege o navă care arată tendința de a *gira în vânt* (de a „intra în vânt"), când se navigă cu *„cârma zero"* . Prin *navă echilibrată* se înțelege o navă care își menține drumul (își menține *alura față de vânt*), când se navigă cu „cârma zero". Asemenea nave sunt nave stabile la drum în condiții de vânt;

– *navele aprovate* ca şi navele cu o suprafaţă velică excesivă la pupa (cazul navelor de tipul „totul la pupa") sunt *nave ardente.* Asemenea nave arată o tendinţă evidentă de a „intra în vânt"; menţinerea lor la drum impune o guvernare atentă şi în general, ţinerea unui anumit unghi de cârmă în bordul de sub vânt. La încărcarea navelor de tipul „cu totul la pupa", cum sunt mineralierele de tipul „REŞIŢA", se recomandă realizarea unei anumite apupări, fapt care asigură diminuarea acţiunii vântului asupra suprafeţei velice excesive din pupa;

– *navele apupate*, ca şi cele cu o suprafaţă velică excesivă la prova (forme de nave rar întâlnite), sunt în general *nave moi.* Prin *navă moale* se înţelege o navă care are tendinţa de a *gira sub vânt* (sau de „a veni sub vânt") când se navigă cu „cârma zero".

Navele maritime comerciale, la care aranjarea asietei este uşor posibilă în condiţii normale de încărcare şi care obişnuit navigă cu o uşoară apupare, sunt în general ardente. De aceea, când se navigă cu vântul aproape de travers şi mai ales cu vântul şi valul dinapoia traversului, având la cârmă un timonier neexperimentat sau neatent, se poate constata următorul fenomen: poziţia reală a navei după un anumit timp nu prezintă o derivă „sub vânt" (cazul poziţiei *C*, fig. 8-10), ci dimpotrivă, punctul navei se află „în vântul" drumului prin apă (de exemplu în *C"*). Acest fapt este explicat prin tendinţa continuă a navei de „a intra în vânt" şi menţinerea eronată a unui drum mediu la compas „în vântul" drumului compas ordonat (căruia i-ar corespunde un drum deasupra fundului *AC"*; fenomenul se poate constata studiind diagrama trasorului de drum a compasului giroscopic şi comparând drumul compas înregistrat cu cel ordonat.

Pe lângă efectul de derivă provocat de vânt asupra operei moarte şi a structurilor navei, precum şi de acţiunea valurilor, vântul de durată dintr-o anumită zonă maritimă cauzează şi un anumit curent la suprafaţa mării. Viteza acestui curent de suprafaţă este aproximativ 1/50 din viteza vântului; direcţia lui la latitudini medii se stabileşte după următoarea regulă cunoscută din hidrometeorologia nautică: stând cu faţa în vânt, direcţia curentului este circa 40° la dreapta – în emisfera nordică şi 40° la stânga, în emisfera sudică. O apreciere asupra unor asemenea curenţi se poate face însă numai dacă se cunosc condiţiile meteorologice din zona în care se navigă în ultimile 48 ore.

3 Corecţia drumului navei pentru deriva de vânt

Acţiunea vântului şi a valurilor asupra drumului şi vitezei navei este un fenomen complex; încercările de a stabili pe cale analitică nişte relaţii matematice pentru corectarea elementelor de mişcare a navei funcţie de această acţiune nu au satisfăcut cerinţele practice ale navigaţiei.

A *Determinarea derivei de vânt* (α)

În practica navigaţiei sunt folosite trei procedee pentru determinarea unghiului de derivă provocat de vânt şi anume:

– prin apreciere;

– prin măsurarea unghiului dintre axa longitudinală și siajul navei;
– prin determinarea succesivă a poziției navei cu observații.

Determinarea unghiului de derivă prin apreciere. Navigatorul cu experiență pe mare, care își studiază cu atenție nava, comportarea ei în condiții de vânt și valuri, reușește să asigure aprecierea unghiului de derivă cu o precizie satisfăcătoare în navigație. Aprecierea derivei de vânt are la bază următoarele elemente principale:

– cunoașterea navei, a particularităților ei constructive (forme, suprafața velică și repartiția longitudinală a acesteia, viteză, calitățile instalației de guvernare, stabilitatea la drum a navei în diferite aluri față de vânt și val etc..)
– cunoașterea condițiilor în care nava navigă (pescaj, asietă – ca urmare a stării de încărcare) și influența acestora asupra comportării navei în diferite aluri față de vânt și val;
– forța și direcția vântului în raport cu axa longitudinală a navei și efectele acestora asupra comportării navei;
– calitatea timonierilor și acuratețea guvernării navei, în condiții de vânt și valuri.

Realizarea unor deprinderi satisfăcătoare în aprecierea unghiului de derivă provocat de vânt și valuri se obține printr-un exercițiu metodic și perseverent; verificarea eficienței acestei aprecieri se face prin determinarea poziției navei cu observații, de îndată ce condițiile de navigație permit, și compararea punctului observat cu cel estimat.

Indicarea unor limite ale valorii unghiului de derivă nu poate fi practic dată. Pentru orientare, redau următorul extras din jurnalul de bord personal, la bordul navei ARDEAL, într-un voiaj cu nava în balast, de la *South Sitra* (Golful Persic) la *Colombo* (Ceylon)*: 13 septembrie 1958. Ieșim din Golful Oman și luăm drum adevărat 126° spre coasta de vest a Indiei, cu intenția aterizării pe farul Vengurla (la nord de Goa). Către orele 10.00 se observă o hulă groasă din WSW; provocând navei un ruliu puternic. La apusul Soarelui, cerul roșu-arămiu, nori cirus cu filamente convergente spre WSW; un gen de protuberanțe roșii, ca niște flăcări imense, scăpau printre norii groși aflați la orizont spre vest, unde a apus Soarele. Presiunea atmosferică prezintă o ușoară scădere față de media mareei barometrice. Ora 20.00, radio Bombay anunmță formarea unui ciclon în centrul Mării Arabice.*

Vântul din sectorul SW crește în intensitate; până la aterizarea pe coasta Indiei intensitatea vântului variază între forța 6-10, cu valuri foarte mari din tribord. Suprastructura centru a navei, cu suprafața ei apreciabilă, pescajul redus – fiind în balàst și viteza redusă, ne provoacă o derivă foarte mare. În zilele de 13, 14 și 15 septembrie cerul continuu acoperit, nu putem face nici o observație astronomică pentru determinarea poziției navei. Ținem navigațiala zi exclusiv prin estimă; timp de patru zile aplicăm o corecție de derivă, pentru condițiile de vânt și de val, între 8°-30°. În perioada crepusculului de seară din ziua de 16 septembrie, două observații astronomice de la Sirius și Marte, „furate" prin niște „spărturi de nori", ne indică o eroare în estimă de 7 Mm; la aterizarea pe farul Vengurla, în ziua de 17 sept. către 02.00, aceasta se dovedește a fi de numai 5Mm. De unde se vede că se poate naviga și estimat!".

Determinarea unghiului de derivă prin măsurarea unghiului dintre axa longitudinală și siajul navei. Unghiul de derivă (α) este reprezentat prin unghiul format între axa longitudinală, privind spre pupa și siajul navei (fig. 8-10). Pe timpul

zilei, acest unghi poate fi măsurat cu ajutorul unei alidade montate la un cerc azimutal pe puntea de comandă sau la compasul etalon. Alidada se orientează paralel cu siajul navei; unghiul de derivă se citeşte ca relevment pupa, babord sau tribord, între axa longitudinală a navei cu sensul spre pupa şi direcţia alidadei astfel orientată. Deoarece această operaţiune se efectuează în condiţii de vânt şi valuri, când nava are anumite abateri de la drum, se fac 3-4 măsurători consecutive; unghiul de derivă se determină ca medie aritmetică a măsurătorilor efectuate. Operaţiunea se execută cu uşurinţă, îndeosebi la navele cu comanda instalată la castelul pupa.

Direcţia siajului este materializată de saula lochului mecanic, remorcată în pupa. Având lochul mecanic lăsat la apă, operaţiunea descrisă mai sus poate fi efectuată şi pe timpul nopţii, măsurând unghiul dintre axa longitudinală şi direcţia saulei, care se iluminează cu un proiector, în acest caz, alidada se orientează paralel cu direcţia saulei lochului.

Stabilirea unghiului de derivă prin determinarea succesivă a poziţiei navei. Considerăm că nava pleacă din punctul A într-un drum compas corespunzător drumului adevărat egal cu $\sphericalangle NaAl$, în condiţii de vânt şi valuri din babord (fig. 8-10) şi după anumite intervale de timp se determină punctele observate B şi C.

Unind punctele A, B şi C, se obţine drumul navei deasupra fundului; direcţia AL reprezintă drumul navei prin apă. Unghiul LAC reprezintă unghiul de derivă (α).

În continuarea navigaţiei, drumul navei se corectează în funcţie de unghiul de derivă astfel determinat.

Pentru a se putea trage concluzii certe privind drumul deasupra fundului este necesar să se determine cel puţin trei puncte observate; dacă condiţiile de navigaţie se menţin aceleaşi şi cele trei puncte sunt pe aceeaşi dreaptă, direcţia determinată reprezintă drumul deasupra fundului. Acest procedeu constituie singura metodă precisă pentru determinarea derivei de vânt.

B *Relaţiile pentru corecţia drumului navei în funcţie de deriva de vânt.*

Din figura 8-10 se observă că relaţiile dintre *drumul deasupra fundului (Df)* ca direcţie reală de deplasare a navei între două puncte de pe suprafaţa Pământului, *deriva de vânt* (α) şi *drumul prin apă* reprezentat prin *drumul adevărat (Da) în care trebuie să se menţină axa longitudinală a navei, sunt următoarele:*

$$Df = Da + \alpha \qquad (8\text{-}2)$$

$$Da = Df - \alpha \qquad (8\text{-}2')$$

Relaţiile se rezolvă algebric, *deriva de vânt (α) considerându-se pozitivă dacă nava este derivată la tribord* (vântul şi valul din babord) şi *negativă, dacă nava este derivată la babord* (vântul şi valul din tribord).

Astfel, ţinându-se seama de formulele pentru convertirea drumurilor (3-21; 3-22 şi 4-22), relaţiile complete pentru calculul drumului compas şi al drumului deasupra fundului în *condiţiile existenţei unei derive de vânt* devin următoarele:

– navigaţia după compasul magnetic:

$$Df = Dc + \delta + d + \alpha = Dc + \Delta c + \alpha \qquad (8\text{-}3)$$

$$Dc = Df - \alpha - d - \delta = Df - \alpha - \Delta c \qquad (8\text{-}3')$$

– navigația după compasul giroscopic:

$$Df = Dg + \Delta g + \alpha \qquad (8\text{-}4)$$

$$Dg = Df - \alpha - \Delta g \qquad (8\text{-}4')$$

Exemplul 8. O navă trebuie să se deplaseze dintr-un punct *A* într-un punct *B*; drumul scos din hartă (drumul deasupra fundului) între cele două puncte, $Df = 33°$ latitudinea 50°, viteza navei 16 Nd. Vântul de travers babord, forța 6; deriva de vânt $\alpha = +3°$. Deviația magnetică din *tabela de deviații*: $d_{1973} = +3°.5$ Compasul giroscopic fără corector automat de deviație; eroarea constantă $A = -0°7.$,

Să se calculeze drumul la compasul magnetic și cel giroscopic.

Rezolvare:

A – Compas magnetic

$Dc = Df - \alpha - d - \delta$

$Df = 33°$
$-\alpha = +3°$
$Da = 30°$
$-d = +3°.5$
$Dm = 26°.5$
$-\delta = +2°.0$
$Dc = 24°.5$

B – Compas giroscopic

$Dg = Df - \alpha - \Delta g$

$Df = 33°$
$-\alpha = +3°$
$Da = 30°$
$-\Delta g = -2°$
$Dg = 32°$

Calculul Δg

$A = -0°.7$
$+\delta g = -1°.3$
$\Delta g = -2°.0$

Exemplul 9. O navă merge în $Dc = 115°$; $Dg = 116°.5$. Viteza navei 12 Nd. Vântul din tribord forța 7, deriva de vânt $\alpha = -4°$. Deviația magnetică din *tabela de deviații*; $d_{1973} = +5°.6$. Compasul giroscopic cu corector automat de deviație; eroarea constantă $A = +0°.5$.

Rezolvare:

A – Compas magnetic

$Df = Dc + \Delta c + \alpha$

$Dc = 115°$
$+\Delta c = +2°$
$Da = 117°$
$+\alpha = -4°$
$Df = 113°$

Calculul Δc

$\delta = -3°.6$
$+d = +5°.6$
$\Delta c = +2°.0$

B – Compas giroscopic

$Df = Dg + \Delta g + \alpha$

$Dg = 116°.5$
$+\Delta g = +0°.5$
$Da = 117°$
$+\alpha = -4°$
$Df = 113°$

§5 Trasarea drumului navei ținând seama de curba de girație

Realizarea unei navigații estimate precise impune a se ține seama de curba de girație la schimbările de drum ale navei. Girația navei este un fenomen complex; în cele ce urmează se menționează doar acele aspecte care prezintă interes pentru rezolvarea problemelor de navigație estimată.

1 Girația navei

Considerăm o navă mergând în $Da = 0°$ (fig. 8-11); în momentul în care ocupă poziția *A* se comandă punerea cârmei de un anumit unghi la tribord. După manevrarea cârmei din poziția zero la unghiul ordonat, datorită rezistenței opuse de pana cârmei și a momentului de girație creat, datorită rezistenței opuse de pana cârmei și a momentului de girație creat, nava arată inițial tendința unei deplasări laterale la babord (în bordul opus punerii cârmei) după care începe să întoarcă în bordul cârmei, la tribord (momentul *B*).

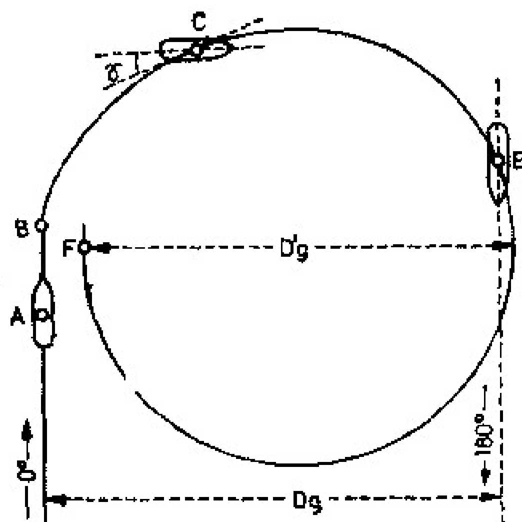


Fig. 8-11

Deplasarea laterală în bordul cârmei sub forma unei mișcări de translație este de scurtă durată și nu depășește, de regulă, lățimea navei.

Intervalul de timp scurs între momentul inițierii manevrei cârmei (*A*) și momentul când nava începe să gireze în bordul punerii cârmei se numește *faza inițială a girației.*

Durata acestei faze nu depășește de regulă 15 secunde, care reprezintă și timpul maxim admis pentru manevra cârmei din poziția zero la banda tribord sau babord, stabilită prin normele Registrului Naval Român. Desigur că, pe lângă parametrii constructivi ai instalației de guvernare, durata fazei inițiale a girației este influențată și de rapiditatea cu care timonierul execută manevra cârmei. Prin urmare, spațiul *AB* depinde de viteza navei și durata fazei, inițiale.

Din poziția *B*, mișcarea navei pe curba de girație intră în *faza de evoluție*, care ia sfârșit după ce nava efectuează o întoarcere de aproximativ 120° față de drumul inițial. Curba descrisă de centrul de greutate al navei în această fază ia forma aproximativă a unei spirale logaritmice. Axa longitudinală a navei formează cu tangenta la curba de girație în centrul de greutate (poziția *C*) un anumit unghi denumit *unghi de derivație* (γ). În faza de evoluție, unghiul de derivație crește și odată cu el și rezistența apei la înaintare; acest fapt determină reducerea progresivă a vitezei navei.

După terminarea fazei de evoluție nava intră în *faza de girație*, în care curba de girație ia forma aproximativă a unui cerc. Unghiul de deviație se menține același și viteza navei este aproximativ constantă, reprezentând 30 – 40% din viteza inițială.

Forma curbei de girație descrisă este considerată pentru condiții de calm, în ape fără curenți; vântul, valurile și curentul pot influența considerabil comportarea navei și forma curbei de girație. Elementele principale ale girației pentru un anumit unghi de cârmă și o anumită viteză a navei sunt: *diametrul girației* și *durata girației*.

Diametrul girației (Dg) este distanța măsurată pe normala la drumul inițial, între acest drum și direcția determinată de axa longitudinală a navei după o întoarcere de 180° (poziția *E*). Diametrul curbei de girație din *faza de girație* se numește *diametrul final al girației (D'g)*; diametrul girației este mai mare decât diametrul final al girației cu 10-20 %. Jumătatea diametrului girației este *raza girației (r)*.

Pentru rezolvarea problemelor de navigație estimată interesează diametrul girației, deoarece în mod normal orice întoarcere pentru luarea unui nou drum este mai mică de 180°

La aceeași viteză a navei, diametrul girației variază invers proporțional cu unghiul de cârmă. La navele cu o singură elice, cum este cazul navelor maritime de transport și pescuit, diametrul de girație din bordul opus pasului elicii, datorită faptului că efectul evolutiv al elicii se însumează cu efectul cârmei; la aceste nave, elicea având în mod normal pas dreapta, diametrul girației la babord este deci mai mic decât diametrul girației la tribord.

Durata girației se consideră egală cu timpul necesar navei ca să efectueze o întoarcere de 180°.

Înainte de a trece să analizăm, modul în care se ține seama de girația navei în navigația estimată, se impune să definim mai întâi o serie de termeni care vor fi folosiți.

Pentru aceasta, considerăm o navă care merge în drumul *Di*; în punctul *A* se pune cârma de un anumit unghi la tribord pentru a întoarce în drum *Dn* (fig. 8-12). În punctul *A* se inițiază deci manevra cârmei la tribord, după care nava intră în girație descriind curba *AB*, iar în punctul *B* se ia noul drum *Dn*.

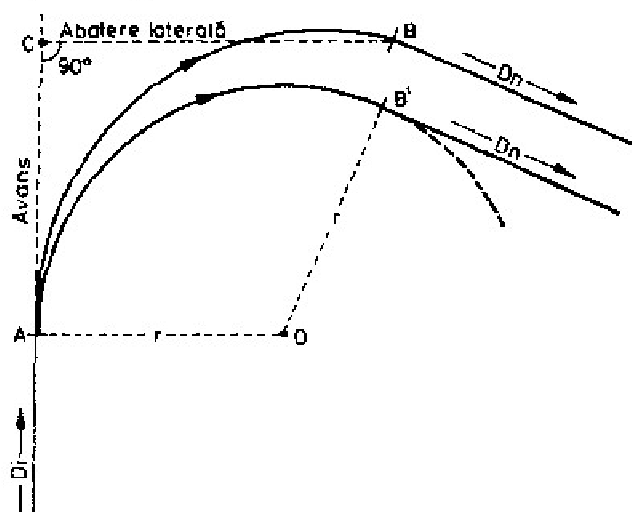


Fig. 8-12

Poziția *A* în care se inițiază manevra cârmei este denumită punct inițial al girației; poziția *B* în care nava termină întoarcerea și se află cu axa longitudinală în noul drum se numește *punct final al girației.*

Spațiul *AC* măsurat pe direcția drumului inițial (*Di*), între punctul inițial al girației *A* și piciorul perpendicularei *C* coborâtă din punctul final al girației *B* se

numeşte *avansul pe drumul inițial* sau *avans*. Distanţa *CB*, măsurată pe perpendiculara la drumul inițial din punctul *C* până în punctul final al girației (*B*) se numeşte *abatere laterală*.

La navele maritime comerciale, elementele girației se determină cu ocazia *probelor de mare* efectuate după terminarea construcției navei, prin aşa-numita *probă de girație*. Proba de girație se execută în condiții de vânt până la forța 4, cu maşina în alura de *viteză continuă de serviciu* („maşina pe drum"), cu „cârma banda"; proba se efectuează succesiv, în ambele borduri.

Curba de girație se determină prin procedee de navigație; pe timpul probei se stabilesc următoarele date, necesare determinării elementelor girației:

– drumul inițial. În momentul începerii probei (inițierea manevrei cârmei) se porneşte un secundometru;

– măsurarea elementelor de observație (relevmente, distanțe, unghiuri orizontale), funcție de procedeul folosit, necesare ulterior pentru trasarea curbei de girație;

– durata girației față de momentul inițial, la anumite unghiuri de întoarcere;

– numărul de rotații ale elicii în punctul inițial al girației şi la terminarea probei;

– unghiul de cârmă;

– înclinarea navei în timpul probei.

Pentru exemplificare se redau mai jos rezultatele *probei de girație la babord* (fig. 8-13) efectuată cu mineralierul BUCEGI în ziua de 20 septembrie 1966, în zona

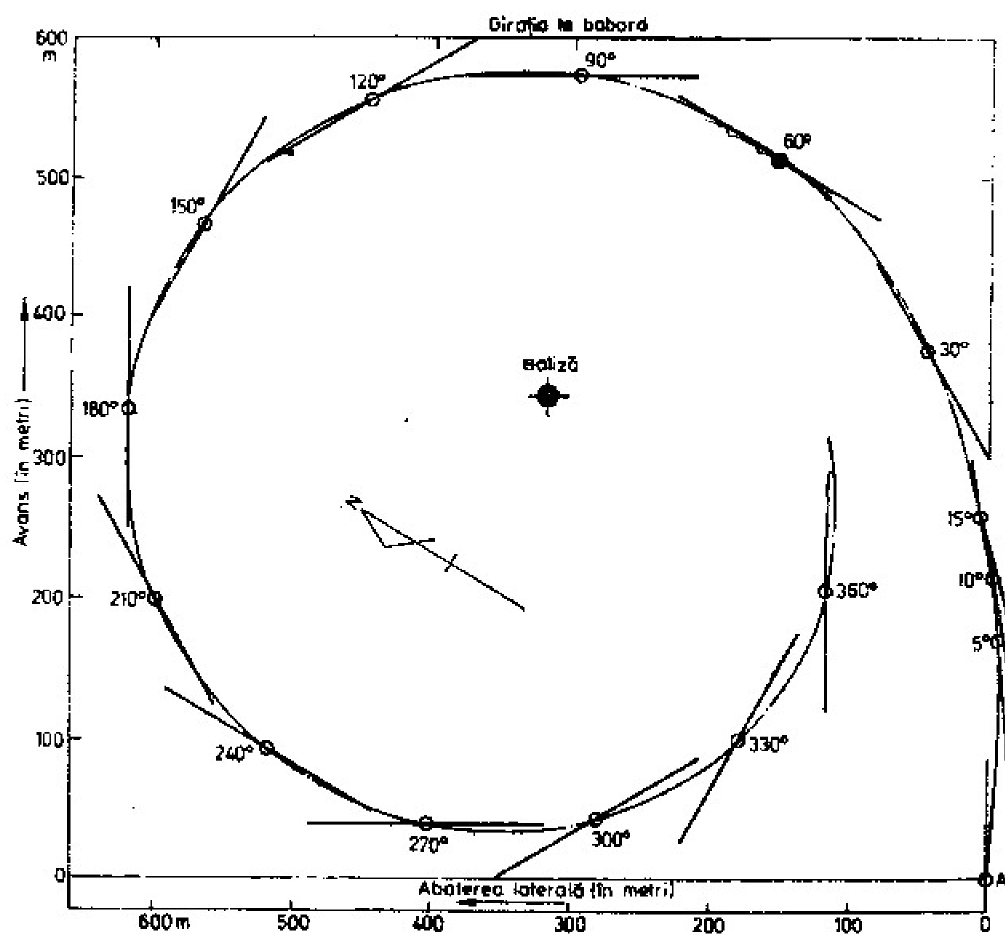


Fig. 8-13

insulei Yuge (Japonia), cu ocazia *probelor de mare* executate în vederea recepției navei. Lungimea peste tot a navei 181.10 m. lățimea maximă 24.80 m, suprafața cârmei 24.26 m^2; în momentul probei, deplasamentul 32 480 tone, pescajul mediu 9.52 m. Punctul *A* reprezintă punctul inițial al întoarcerii; proba s-a defăşurat în următoarele condiții:

– drumul inițial 60°;
– viteza inițială 16.04 Nd;
– adâncimea apei 35 m;
– unghiul de cârmă 36° babord („banda stânga");
– 115 rotații/minut, în momentul inițial al girației.

Elementele de observație pentru trasarea curbei de girație au fost măsurate după 5°, 10°, 15°, 30° de întoarcere şi în continuare, la intervale de 30° (60°, 90°, ..., 360°), până la efectuarea unei girații complete.

Rezultatele probei obținute din trasarea curbei de girație (fig. 8-13) şi măsurarea duratei girației, la diferite unghiuri de întoarcere, sunt următoarele:

Unghiul de întoarcere (grade)	Durata girației (min.-sec)	Avansul (m)	Abaterea laterală (m)
5°	17.8	170	7
10°	24.0	216	3
15°	30.0	258	6
30°	44.0	375	45
60°	1-09.2	514	152
90°	1-35.0	574	297
120	2-03.4	556	445
150	2-33.2	467	565
180	3-05.2	334	619
210	3-38.0	199	599
240	4-11.8	92	518
270	4-46.2	40	402
300	5-20.8	45	280
330	5-55.0	101	179
360	6-30.0	206	119

Din analiza elementelor principalele ale girației rezultă următoarele:

– *diametrul girației* (egal cu *abaterea laterală* la o girație de 180°)= 619 m=3.38 cabluri;

– *diametrul final al girației* = 500 m. Se obține din diferența abaterilor laterale pentru girația de 180° (=619 m) şi cea pentru girația de 360° (=119 m);

– *durata girației* (pentru o girație de 180°) = $3^m05^s.2$

2 Trasarea drumului navei ţinând seama de curba de giraţie

Ţinerea la zi a unei estime grafice precise, în condiţii în care se execută schimbări dese de drum, la distanţe relativ reduse (cazul navigaţiei prin strâmtori, în zone cu pericole de navigaţie etc.), impune ca la trasarea drumului navei să se ţină seama de curba de giraţie. Navigaţia estimată în asemenea condiţii se execută pe hărţi la scară mare.

Având de exemplu de urmat drumurile D_1, D_2, D_3, în care se parcurg distanţele m_1, m_2, m_3, figura 8-14 ilustrează eroarea care se generează în ţinerea estimei grafice atunci când nu se ţine seama de curba de giraţie (drumurile D_2 şi D_3 trasate punctat) în acest caz, eroarea este prezentată prin spaţiul Z'_3Z_3.

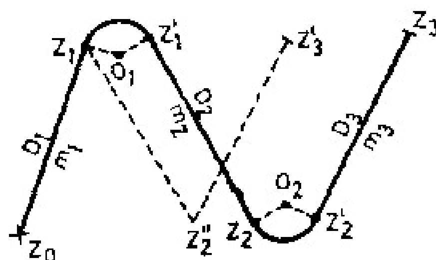


Fig. 8-14

La bordul navelor maritime comerciale, trasarea drumului navei ţinând seama de curba de giraţie se rezolvă prin două procedee:

– trasarea noului drum folosind avansul şi deplasarea laterală;

– trasarea noului drum considerând curba de giraţie de forma unui cerc.

A *Trasarea drumului navei folosind avansul şi abaterea laterală*

Considerăm o navă care merge în drumul *Di* şi trebuie să întoarcă la tribord pentru a lua drumul *Dn* (fig 8-12). Trasarea noului drum *(Dn)*, ţinând seama de curba de giraţie a navei, se rezolvă pe hartă astfel:

– se determină poziţia estimată *A* pe drumul iniţial, pentru momentul iniţial al giraţiei;

– se determină punctul *C*, pe drumul iniţial, aflat la o distanţă în prova egală cu avansul (scos din tabela cu elementele giraţiei navei, funcţie de unghiul de întoarcere);

– se ridică perpendiculara din *C* în sensul giraţiei (la tribord), pe care se măsoară abaterea laterală (scoasă de asemenea din tabela cu elementele giraţiei). Se obţine astfel punctul final al giraţiei *B*;

– prin punctul final al giraţiei, *B*, se trasează noul drum al navei *Dn*.

Dacă unghiul de întoarcere este diferit de valorile menţionate în tabela cu elementele giraţiei, avansul şi abaterea laterală se stabilesc prin interpolare.

În momentul în care nava termină giraţia şi se află în noul drum *Dn*, se citesc ora şi locul, care se notează pe hartă în dreptul punctului final al giraţiei *B*; în continuare, estima se ţine la zi în raport cu acest punct.

Exemplul 10. Nava BUCEGI merge în *Da* = 165°, viteza 16.0 Nd. La ora 08.12, cl_1 = 84.6 Mm, se ordonă cârma banda babord şi luarea *Da* = 30°. În momentul când

nava se află în noul drum (30°), ora bordului este 08.14, cl_2 = 85.1 Mm. Se cere trasarea noului drum ţinând seama de curba de giraţie.

Rezolvare (fig. 8-15):

– se determină punctul estimat la ora 08.12, pe hartă, în modul cunoscut;

– se scoate avansul din tabela cu elementele giraţiei la babord pentru unghiul de întoarcere executat = 165° – 30° = 135°. Avansul pentru unghiul de întoarcere 135° este 511m = 2.8 cabluri. Se măsoară avansul (=2.8 cabluri) pe drumul iniţial şi se obţine punctul C;

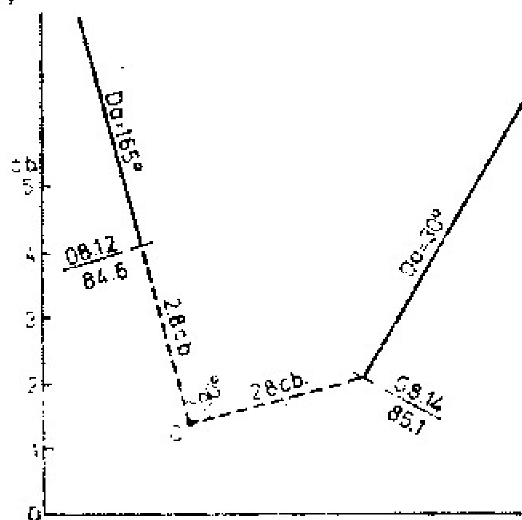


Fig. 8-15

– se ridică perpendiculara din C, la babord;

– se scoate din tabela cu elementele giraţiei la babord, abaterea laterală pentru unghiul de întoarcere de 135°. Abaterea laterală = 565 m = 2.8 cabluri;

– se măsoară abaterea laterală pe perpendiculara ridicată din C şi se obţine punctul final al giraţiei, care reprezintă punctul estimat al navei pentru ora 08.14. Prin acest punct se trasează noul drum al navei (30°).

B *Trasarea drumului navei considerând curba de giraţie de forma unui cerc*

Presupunem situaţia menţionată mai sus (fig.8-12): nava merge în drumul Di, începe manevra de giraţie la tribord în punctul A şi întoarce în drumul Dn. Considerând curba de giraţie de forma unui cerc (denumit „cerc de giraţie"), noul drum se poate trasa astfel:

– din punctul iniţial al giraţiei A, se ridică o perpendiculară în sensul întoarcerii (la tribord);

– din A, se măsoară pe perpendiculara ridicată un segment egal cu *raza de giraţie* $\left(r = \frac{Dg}{2}\right)$ obţinându-se astfel centrul cercului de giraţie O;

– cu centrul în O şi cu raza r se trasează cercul de giraţie.

Noul drum Dn se trasează ca tangentă la cercul de giraţie. Punctul de tangenţă B' se consideră punctul final al giraţiei, în raport de care se ţine estima pe noul drum.

Aproximaţia procedeului derivă din înlocuirea curbei de giraţie AB (fig.8-12) cu arcul de cerc AB'; spaţiul BB' reprezintă măsura aproximaţiei generată din această substituire. Procedeul are o largă utilizare la bordul navelor maritime comerciale.

Pentru edificare, considerăm exemplul 10 de mai sus, care se cere a fi rezolvat prin procedeul enunţat.

Rezolvare (fig. 8-16):

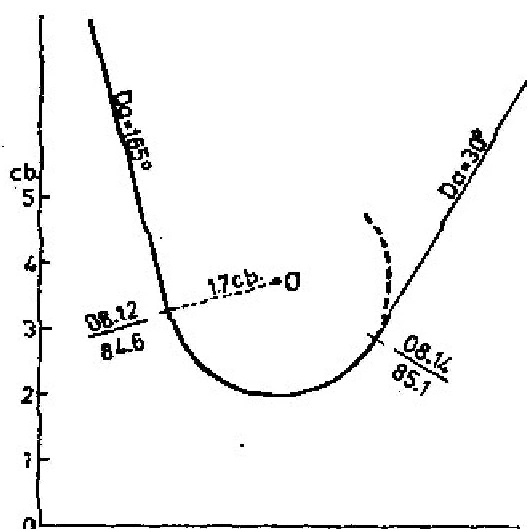


Fig. 8-16

– se determină punctul estimat al navei la ora 08.12, pe drumul iniţial;

– se ridică perpendiculara din punctul iniţial al giraţiei (08.12), la babord, pe care se măsoară un segment egal cu raza de giraţie a navei BUCEGI, $r = \frac{3 \cdot 38}{2} = 1.7$ cabluri, obţinând astfel centrul cercului de giraţie O;

– se trasează cercul de giraţie cu centrul în O şi raza $r = 1.7$ cabluri;

– se trasează noul drum Da = 30°, tangent la cercul de giraţie. Punctul de tangenţă reprezintă punctul final al giraţiei, deci punctul estimat la ora 08.14.

3 Determinarea momentului începerii giraţiei pentru a lua un anumit drum pe o direcţie determinată

Navigaţia în zone cu pericole hidrografice se execută pe anumite derumuri („drumuri obligatorii"), determinate fie printr-un balizaj special (aliniamente, geamanduri etc.), fie printr-un control riguros cu observaţii la reperele de navigaţie. Când se vine de la larg, intrarea într-un asemenea drum obligatoriu trebuie făcută cu multă atenţie. După ce ne-am convins că nava se află pe drumul trasat pe hartă, prin determinarea repetată a poziţiei cu observaţii, momentul începerii giraţiei se controlează printr-un relevment la un obiect de la coastă, aflat cât mai aproape de traversul navei.

Considerăm o navă care merge în drumul Di (fig. 8-17) şi trebuie să întoarcă la tribord pentru a intra şi apoi a naviga în drumul Dn, determinat de aliniamentul format de obiectele M şi N; raza de giraţie este r. Se cere să se determine punctul în care nava trebuie să înceapă întoarcerea şi relevmentul în care se vede obiectul M, în momentul în care trebuie iniţiată manevra cârmei.

Problema se rezolvă astfel:

– se trasează direcția determinată de aliniamentul *MN*, spre larg, obținându-se astfel drumul *Dn*;

– la o distanță egală cu raza girației *r* se trasează paralele la drumul inițial și la noul drum, în bordul întoarcerii (la tribord). Punctul de intersecție *O* al celor două paralele reprezintă centrul cercului de girație;

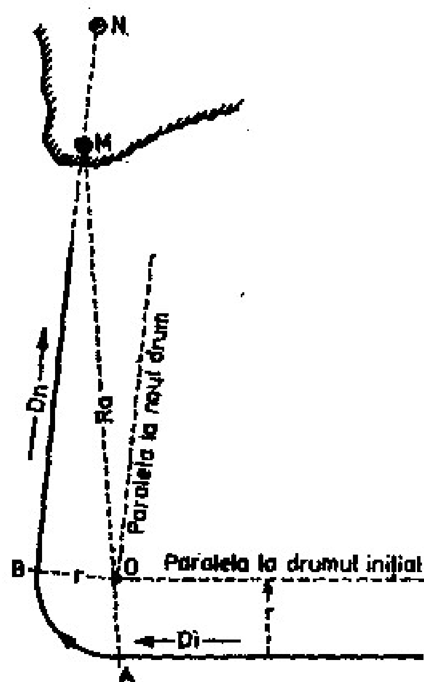


Fig. 8-17

– cu o deschizătură de compas egală cu raza girației *r* și cu centrul în *O*, se trasează curba de girație. Punctele de tangență, respectiv picioarele perpendicularelor coborâte din *O* pe drumul inițial și pe noul drum, reprezintă *punctul inițial al vibrației (A)* și *punctul final al girației (B)*;

– se unește punctul inițial al girației *A* cu obiectul *M* și se obține relevmentul adevărat *Ra*, în care se va vedea *M* în momentul în care trebuie să se înceapă întoarcerea..

În momentul în care obiectul *M* se vede în relevmentul *Ra*, astfel determinat, se inițiază manevra de girație la tribord; când nava ajunge în punctul *B*, se află în drumul *Dn*, cu prova pe aliniamentul *MN*.

§6 Precizia estimei grafice

Precizia punctului estimat al navei este în funcție de precizia cu care se stabilesc cele două elemente de bază ale estimei: *drumul deasupra fundului și distanța parcursă;* aceste elemente sunt însă afectate de o serie de erori, care se transmit în determinarea poziției navei. Aceste erori sunt generate în principal de imperfecțiunea instrumentelor folosite pentru determinarea drumului și distanței parcurse, de abaterile de la drumul în care nava trebuie guvernată și de condițiile hidrometeorologice de navigație.

Erorile în corecția compasului afectează precizia drumului navei. În cazul folosirii compasului magnetic, deviația magnetică, în condiții favorabile, se consideră că se cunoaşte la precizie de ±0°.5; aproximația în stabilirea declinației magnetice se poate aprecia aceeaşi, de ±0°.5. Rezultă că, precizia drumului poate fi considerată de ±1°; eroarea poate fi însă apreciabil mai mare, din diferite cauze: încărcarea de mărfuri cu influențe magnetice, anomalii magnetice etc.

Compasul giroscopic oferă o precizie superioară; la latitudini medii şi în condiții favorabile de navigație, eroarea compasului giroscopic poate fi considerată în limitele de ±0°.5. Eliminăm însă din considerațiile noastre erorile grosiere posibile în indicațiile compasului giroscopic, cauzate de defecțiuni tehnice de funcționare, prin scoaterea acestuia din meridian; asemenea erori pot fi cu uşurință identificate, ținând seama că guvernarea navei se asigură printr-o comparație atentă a indicațiilor compasului giroscopic cu ale celui magnetic.

Acuratețea cu care se asigură guvernarea navei are o influență deosebit de importantă pentru precizia estimei. În condiții normale de navigație, la o navă stabilă la drum şi cu un timonier experimentat la cârmă, guvernarea se asigură la o precizie de ±0°.5, după compasul giroscopic şi de ±1°, după compasul magnetic. La aceeaşi navă, cu acelaşi timonier, abaterile de la drum ("ambardeele") pot atinge valori de 2°-3°şi chiar mai mult în condiții de vreme rea. Dacă aceste abateri de la drum sunt uniform distribuite în borduri, ceea ce constituie cazul cel mai favorabil, nu se provoacă erori în drumul navei, ci numai în distanța parcursă; în acest caz, distanța indicată de loch este mai mare decât cea real parcursă pe drumul în care se navigă.

Pilotul automat aduce servicii prețioase pentru guvernarea navei şi, implicit, pentru creşterea preciziei estimei.

Deriva de vânt are influență atât asupra preciziei drumului navei, cât şi a distanței parcurse. Când unghiul de derivă se stabileşte pe bază de apreciere, aproximația care se introduce în calculul drumului este dependentă în cea mai mare măsură de experiența navigatorului; o estimare a erorilor probabile în această situație este foarte greu de făcut. În orice caz, în condiții de vânt puternic şi mare montată, eroarea poate atinge valori considerabile.

În condiții de vânt, îndeosebi în alura cu vânt din apropierea traversului şi dinapoia traversului, navele fiind în general ardente, îşi manifestă tendința de a „intra în vânt". În asemenea condiții, funcție de experiența şi atenția timonierilor în guvernarea navei, deriva de vânt poate fi parțial sau total compensată; mai mult chiar, este posibil ca eroarea de drum să rezulte „în vântul" drumului trasat pe hartă şi nu „sub vânt", aşa cum ar fi în mod normal de aşteptat.

Deriva de curent, de asemenea, influențează ambele elemente de bază ale estimei, atât drumul cât şi distanța parcursă. Aproximația introdusă în estima grafică este funcție de precizia cu care se cunosc elementele curentului, folosite în calculul pentru determinarea drumului şi vitezei navei deasupra fundului. Elementele curenților permanenți sau de maree, conținute în diferite documente nautice pentru uzul navigației reprezintă valori medii, stabilite pe baza unor observații făcute în timp; condițiile concrete în timpul în care nava traversează zona respectivă pot fi însă diferite, sub influența anumitor factori.

Aproximații în determinarea drumului și a vitezei deasupra fundului pot fi introduse și în cazul în care elementele curentului sunt determinate prin observații proprii, îndeosebi în zona costieră; este posibil ca elementele curentului din zona traversată, în care s-au făcut observațiile pentru determinarea acestora, să fie diferite față de elementele curentului din zona în care urmează să se continue navigația, sub influența configurației coastei sau a altor factori locali.

Indicațiile lochului pentru determinarea distanței parcurse, în condiții normale de navigație, pot fi afectate afectate de erori până la ±3%. Limitele erorii pot crește considerabil în condiții de mare montată.

Precizia estimei grafice este afectată și de *acuratețea lucrului pe hartă.* Aproximațiile introduse în acest domeniu sunt determinate de: imperfecțiunea instrumentelor de măsurare a drumului (echere raportoare și linii paralele), care pot cauza erori medii de ±0°.2; imperfecțiunea ghearei de compas pentru măsurarea distanțelor, capabilă să determine erori mai mari sau mai mici, funcție de scara hărții și lungimea grafică de măsurat; imperfecțiunea hărții, cauzată de deformații ale hârtiei (îndoituri, umezire etc.) sau de aproximații în întocmire.

Un alt factor important care condiționează precizia estimei grafice este scara hărții; cu cât scara hărții este mai mare, cu atât erorile introduse în poziția estimată a navei sunt mai reduse.

Însumarea acestor cauze conduce în final la anumite erori în calculul drumului deasupra fundului și al distanței parcurse, folosite la determinarea punctului estimat. Eroarea punctului estimat, funcție de erorile în drum și distanță, cresc proporțional cu distanța parcursă .

Pentru a vedea care este eroarea probabilă a punctului estimat cauzată de erorile maxime probabile în drumul navei și în distanța parcursă, considerăm o navă care pleacă din punctul *A* în drumul D (∢ NaAF); ar urma deci ca nava să se deplaseze pe o direcție deasupra fundului *AF* (fig. 8-18).

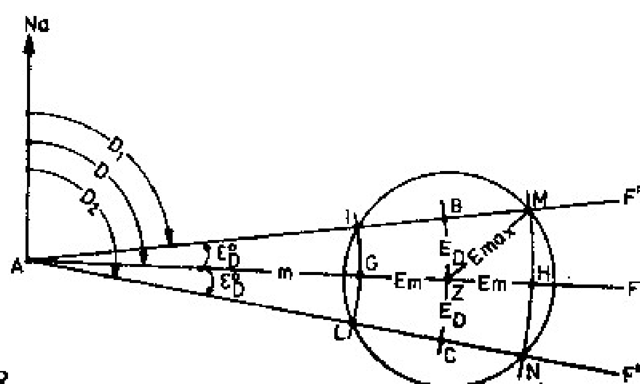


Fig. 8-18

Presupunem că drumul navei poate fi afectat de o eroare maximă probabilă de mărimea $\varepsilon°_D$; drumul probabil al navei deasupra fundului în acest caz este cuprins între direcțiile $AF'(D_1 = D - \varepsilon°_D)$ și $AF''(D_2 = D + \varepsilon°_D)$.

Dacă distanța parcursă de navă la un moment dat este egală cu *m*, poziția probabaiIă a navei se află pe arcul *BC*, având centrul în *A* și raza *m*, delimitat prin intersecțiile cu direcțiile *AF'* și *AF''*; dacă drumul navei nu ar fi afectat de eroarea $\varepsilon°_D$, poziția estimată a navei în momentul considerat ar fi *Z*.

Eroarea E_D ($=\widehat{BZ} = ZC$), în mile marine, determinată de eroarea în drumul navei $\varepsilon°_D$, în grade, la distanța parcursă m este exprimată de relația:

$$E_D(\text{Mm}) = \varepsilon°_D \frac{m}{57°3} \tag{8-5}$$

Eroarea în drum $\varepsilon°_D$	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°
Eroarea E_D (în Mm)	1.7	3.5	5.2	7.0	8.7	10.5	12.3	14.0	15.8	17.6	19.4	21.2

La distanța parcursă m de 100 Mm și valori ale erorii în drum $\varepsilon°_D$ de la 1-12°, eroarea liniară E_D corespunzătoare, în mile marine, este dată de următoarea tabelă:

Eroarea E_D poate fi practic considerată ca abaterea laterală, în mile marine, măsurată pe normala la drumul navei. Și deoarece toate aceste calcule se bazează pe niște aproximații, relația (8-5) poate fi înlocuită prin formula aproximativă:

$$E_D(\text{Mm}) = \varepsilon°_D \frac{m}{60°} \tag{8-6}$$

Formula (8-6), folosită în practica navigației, arată că *o eroare în drumul navei de 1° la distanța parcursă de 60 Mm, cauzează o abatere laterală de 1Mm.*

Considerând o eroare în distanța indicată de loch ε_1 (în procente), eroarea în distanța parcursă Em este dată de relația:

$$Em = \varepsilon_1 \frac{m}{100} \tag{8-7}$$

Dacă Em reprezintă eroarea maximă probabilă în distanța parcursă m, iar eroarea în drum se consideră zero, poziția estimată probabilă a navei se află pe segmentul GH ; acest segment se determină măsurând eroarea maximă probabilă Em în sensul drumului deasupra fundului AF și în sens opus, cu originea în punctul estimat Z.

Presupunând eroarea maximă probabilă în drumul navei E_D, iar în distanța parcursă Em, poziția probabilă a navei se află într-un punct al sectorului de coroană circulară $MNLI$; arcele MN și IL se obțin prin intersectarea direcțiilor AF' și AF'' cu arcele de cerc de rază $m + Em$, respectiv $m - Em$ și cu centrul în A.

Eroarea maximă probabilă $E\ max.$ a punctului estimat al navei, în mile marine, în condițiile admise, este exprimat de distanța maximă în raport cu punctul Z, reprezentată prin segmentul $ZM = ZN$; segmentul ZM se poate obține din triunghiul AMZ, aplicând teorema cosinusului:

$$\overline{ZM}^2 = \overline{AZ}^2 + \overline{AM}^2 - 2\overline{AZ}\cdot\overline{AM}\cos e°_D \tag{8-8}$$

unde:

$$\overline{AZ} = m \quad \text{și} \quad \overline{AM} = m + Em.$$

Exemplul 11. Nava navigă în $Da = 85°$, distanța parcursă $m = 100$ Mm. Se navigă în condiții de mare montată, vânt din prova tribord 30°, forța 8. Eroarea maximă probabilă în drumul navei $\varepsilon°_D = \pm 3°$; Eroarea maximă probabilă a lochului $\varepsilon_l = \pm 5°$. Se cere să se determine eroarea maximă probabilă (*E max*) a punctului estimat al navei.

Rezolvare:

$$E\,max^2 = 100^2 + 105^2 - 2 \times 100 \times 105 \times \cos 3° = 7.33 \text{ Mm}$$

Rezultă că, la valorile maxime admise pentru erorile probabile în drumul navei și în distanța parcursă, eroarea maximă probabilă în punctul estimat al navei este de 7.33 Mm.

În practica navigației, pentru determinarea suprafeței probabile în interiorul căreia se poate considera punctul estimat al navei, față erorile maxime probabile admise, în funcție de condițiile existente, se folosesc două procedee:

– prin construcția grafică, pe hartă, a sectorului de coroană circulară *MNLI*, în modul indicat mai sus (fig. 8-18);

– se determină punctul estimat *Z* și se calculează eroarea maximă probabilă (*E max*) a punctului estimat (formula 8-8). Cu centrul în *Z*, se trasează un cerc cu o rază egală cu *E max* (fig. 8-18); acest cerc este denumit *cercul erorilor estimei* sau *cercul de incertitudine al estimei*. Poziția estimată probabilă a navei, prin acest procedeu, se consideră într-un punct al suprafeței închise de acest cerc.

Dotarea navelor maritime cu compasuri giroscopice, cu pilot automat pentru guvernarea navei și cu lochuri hidrodinamice, creează condiții pentru mărirea evidentă a preciziei navigației estimate; utilizarea la bord asigură posibilitatea determinării mai precise a drumului și vitezei deasupra fundului. Experiența arată că, la navele maritime comerciale de cursă dotate cu ac $\frac{1}{40}$ este aparate, eroarea maximă probabilă (*E max*) a punctului estimat nu depășește mărimea de din distanța parcursă – în condiții normale de navigație și de $\frac{1}{20}$ din această distanță, în condiții de vreme rea. La navele maritime de tonaj mic și mijlociu, cu viteză redusă, la care guvernarea este asigurată după compasul magnetic, precizia estimei este redusă în cele mai frecvente cazuri la jumătate: raza cercului de incertitudine (=*E max*) poate atinge valoarea de $\frac{1}{20}$ din distanța parcursă , în condiții normale de navigație și $\frac{1}{10}$ din această distanță, pe vreme rea.

Din cele arătate mai sus se conclude că punctul estimat al navei poate fi afectat de erori, uneori considerabile. Precizia punctului estimat, în practica navigației, este condiționată în principal de patru factori : experiența navigatorului fundamentată pe cunoașterea bazelor teoretice ale navigației estimate și atenția depusă în ținerea la zi a estimei; precizia indicațiilor compasurilor și lochurilor de la bord; acuratețea guvernării navei; condițiile hidrometeorologice de navigație.

Marea artă a navigatorului, născută din studiul bazelor teoretice ale navigației estimate și din experiența pe mare, se manifestă prin logica gândirii și interpretării

situației de navigație, care trebuie să conducă la deducerea poziției celei mai probabile în interiorul suprafeței erorilor estimei și la luarea celor mai indicate măsuri pentru conducerea navei, față de condițiile existente. În situații incerte, hotărârile trebuie să fie însoțite de un curaj rezonabil, fundamentat pe o gândire profundă a situației, menținând treaz în memorie faptul că, în navigație, siguranța trebuie să primeze!

§7 Estima grafică în navigația oceanică

Precizia punctului estimat depinde într-o măsură apreciabilă și de scara hărții pe care se rezolvă problemele navigației estimate, de mărimea grafică a minutului de latitudine crescândă, folosită ca unitate de măsură pentru măsurarea distanței parcurse de navă. Desigur, precizia lucrului pe hartă crește cu cât scara hărții este mai mare.

Hărțile oceanice sunt hărți care reprezintă suprafețe întinse ale Pământului, redate la scară mică, utile doar pentru studiul drumului în executarea traversadelor; problemele estimei grafice și ale navigației în general (trasarea dreptelor de înălțime în navigația astronomică etc.) nu pot fi rezolvate cu o precizie satisfăcătoare pe asemenea hărți.

Zona costieră însă, care delimitează zona oceanică, este reprezentată în toate cazurile pe hărți costiere și de drum, la o scară ce satisface cerințele estimei grafice. *Rețeaua cartografică și scara grafică a latitudinilor crescânde a acestor hărți costiere*, reprezentând zona costieră limitrofă celei oceanice cuprinse între aceleași paralele, *poate fi folosită pentru estima grafică la larg, modificând în mod corespunzător doar longitudinile*; pe harta oceanică, se trasează numai drumul de urmat și se pun pozițiile intermediare limită de pe hărțile costiere folosite, indicând data, ora și citirea la loch, pentru a evidenția astfel poziția geografică a navei pe timpul traversadei.

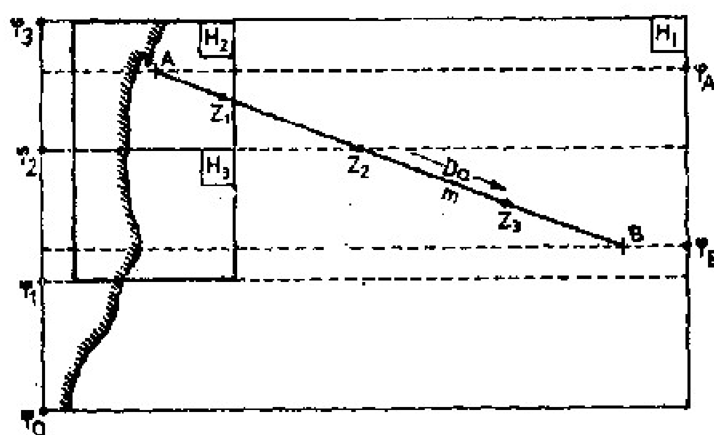


Fig. 8-19 a

În vederea elucidării acestui sistem de lucru pe hartă folosit în practica navigației oceanice, considerăm că nava are de executat traversada din punctul A (φA; λA) în B (φB; λB); zona oceanică de traversat este reprezentată prin harta oceanică H_1 (fig. 8-19 a), delimitată prin paralele de latitudine φ_0 și φ_3. Zona costieră, partea de vest, cuprinsă între paralele φ_2 la φ_3 și φ_1 la φ_2 este reprezentată de hărțile costiere H_2 și respectiv H_3 (fig 8-19 *b* și 8-19 *c*)

Lucrul pe hartă pentru ţinerea la zi a estimei grafice pe timpul traversadei se execută astfel:

– pe harta oceanică H_1, se uneşte punctul *A* cu *B* şi se determină drumul navei *Da* şi distanţa de parcurs *m*. Pentru verificarea preciziei, dat fiind scara mică a hărţii, aceste elemente pot fi determinate folosind procedeul estimei prin calcul (vezi cap. 9). După cum se vede din fig 8-19, estima grafică pentru traversada din *A* în *B* poate fi ţinută pe hărţile costiere H_2 şi H_3, latitudinile celor două puncte (φA şi φB) fiind cuprinse între latitudinile limită ale celor două hărţi costiere (φ_1 şi φ_3);

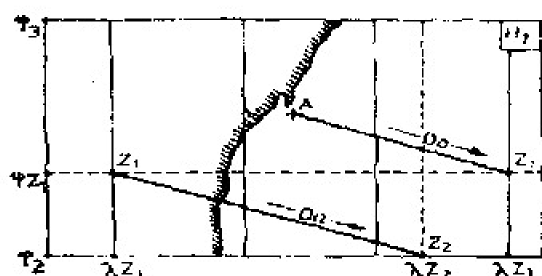


Fig. 8-19 b

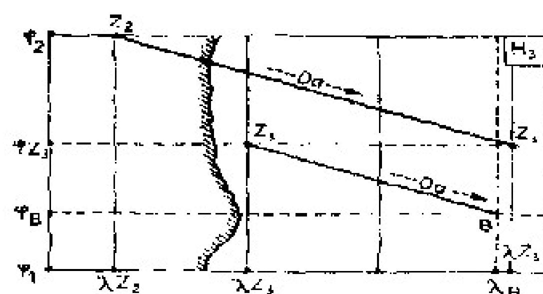


Fig. 8-19 c

– se trece punctul *A* pe harta H_2 şi se trasează drumul *Da* până la intersecţia meridianului limită spre est, reprezentat în reţeaua cartografică a hărţii, obţinând astfel punctul intermediar Z_1 de longitudine λZ_1. Estima grafică din punctul *A* în Z_1, pe harta H_2, se rezolvă în mod normal (fig. 8-19 *b*);

– pentru a folosi în continuare scara grafică a latitudinilor crescânde şi reţeaua cartografică a hărţii H_2, punctul Z_1 se transleazä spre vest. Punctul Z_1 se fixează la intersecţia dintre paralelul punctului Z_1, notat prin φZ_1, cu meridianul limită dinspre vest, reprezentat în reţeaua cartografică a hărţii H_2. În acest mod, meridianului limită dinspre vest al hărţii H_2 i se atribuie longitudinea λZ_1; folosirea reţelei cartografice, în vederea continuării ţinerii estimei grafice pe harta H_2 impune modificarea longitudinilor celorlalte meridiane reprezentate, luând ca bază longitudinea λZ_1, a meridianului limită dinspre vest, devenit astfel meridian al punctului intermediar Z_1;

– prin punctul Z_1, plasat în noua reţea a meridianelor, se trasează drumul *Da* până la intersecţia paralelului limită φ_2 al hărţii H_2, obţinând astfel punctul intermediar Z_2, de latitudine φ_2 şi longitudine λZ_2;

– când nava ajunge în Z_2, punctul respectiv se trece pe harta H_3 (fig. 8-19 *c*), modificând în mod corespunzător longitudinile meridianelor reprezentate, funcţie de longitudinea λZ_2. Operaţiunea se repetă până când nava ajunge în punctul de sosire *B*;

– în scopul menţinerii unei imagini clare asupra poziţiei geografice a navei, în cursul traversadei, pe harta oceanică H_1 se indică data , ora şi citirea la loch pentru momentele când nava se află estimat în punctele intermediare Z_1, Z_2, Z_3, precum şi poziţiile zilnice de la ora 12.00.

În practica navigaţiei oceanice, situaţiile care se pot ivi sunt foarte variate, principiul de lucru este însă acelaşi; astfel, în cele mai dese cazuri, la traversade oceanice se folosesc hărţile costiere atât din zona punctului de plecare, cât şi a celui

de sosire. Sistemul de lucru este simplu și dă rezultate bune în navigație, creând posibilitatea aplicării procedeului estimei grafice în locul estimei prin calcul, cu mult mai comod și cu mai puține surse de erori. Se recomandă însă o precauție: *transpunerea punctelor intermediare ale drumului (Z_1, Z_2 etc.) și modificarea rețelei longitudinilor trebuie să fie efectuate cu atenție de către o singură persoană, cel mai indicat fiind comandantul navei.*

§8 Indicații practice pentru conducerea navei în condiții în care navigația se ține la zi pe baza estimei

1 Ținerea la zi a estimei

Prin ținerea la zi a estimei se înțelege activitatea de determinare a poziției a navei și a drumului de urmat pe baza procedeelor navigației estimate, tratate mai sus.

Înainte de plecarea navei din port sau înainte de a intra într-o nouă zonă, în navigația la distanțe mari, se procedează la *trasarea drumului* pe care nava trebuie să-l urmeze. Trasarea drumului se efectuează pe baza unui studiu amănunțit al particularităților de navigație ale zonei de traversat, folosind documentația nautică existentă: hărți, cărți pilot, atlase de curenți etc...

Trasarea drumului navei, *operațiune deosebit de importantă în navigația maritimă*, este tratată în partea III, capitolul 14.

Datoria ofițerilor de cart de la bord, pe timpul navigației, este de a menține nava pe drumul trasat pe hartă de către comandant. Pe timpul cartului său, ofițerul de cart face corecția drumului compas pentru deriva de vânt sau de curent, atunci când situația impune, astfel ca nava să fie menținută continuu pe drumul trasat, informându-l pe comandant.

Guvernarea navei se asigură după compasul giroscopic, comparându-i continuu indicațiile cu acelea ale compasului magnetic. La ordonarea unui nou drum compas, pe timpul girației, timonierul raportează cu glas tare capurile la compas din 10° în 10°, prin care nava trece; când nava ajunge la drumul ordonat, el raportează „la drum ... grade!", la care cel care conduce manevra (comandantul sau ofițerul de cart) confirmă prin „drept așa!". Noul drum compas, giroscopic și magnetic, se verifică prin comparație imediat după schimbarea drumului.

Ofițerul de cart verifică continuu drumul compas ținut de timonieri și modul în care se asigură guvernarea navei, îndeosebi în condiții de vreme rea. Timonierul raportează imediat ofițerului de cart dacă indicațiile compasului magnetic nu mai corespund cu acelea ale compasului giroscopic, pentru verificarea cauzelor. La navele cu doi timonieri în cart, „predarea cârmei" în timpul cartului (din oră în oră), între aceștia, se face în prezența ofițerului de cart, care trebuie să se convingă de preluarea corectă a drumului compas, de către noul timonier. „Predarea cârmei" la schimbarea cartului între timonieri se face în prezența ofițerilor de cart (cel care predă și cel care preia noul cart), în scopul verificării corectitudinii transmiterii drumului compas în care nava trebuie guvernată.

Comandantul navei, ofițerii de cart care concură la conducerea navei, și timonierii, cu sarcina guvernării ei, trebuie să fie permanent conștient de faptul că asigurarea conducerii navei într-un drum corect (trasarea pe hartă, calculul lui, menținerea cu atenție în guvernarea navei etc.), constituie o activitate de importanțăvitală în navigație; nerespectarea acestei precauții esențiale a condus la sinistre maritime sau avarii grave.

La bordul navelor maritime, viteza cu care se navigă este aceea care corespunde numărului de rotații ale elicei la puterea maximă de serviciu a mașinii principale; excepții fac situațiile când se impun sosiri în anumite puncte la ore determinate și în condiții de vizibilitate redusă sau de mare montată.

Toate datele care interesează ținerea la zi a estimei și conducerea navei, în general, se înscriu în *jurnalul de bord*. Pe pagina din stânga a acestuia, la fiecare oră a bordului, se înscriu:

– direcția și forța vântului;

– drumul compas (*Dg/Dc*), corecția compasului ($\Delta g/\Delta c$), deriva (de vânt, de curent) și drumul adevărat corespunzător;

– citirea la loch și distanța parcursă (corectată în funcție de factorul de corecție al lochului);

– rotații/minut ale mașinii principale.

Tot pe pagina din stânga se mai înscriu:

– poziția navei la ora 12.00 (prin latitudine și longitudine);

– observații hidrometeorologice pe timpul cartului: starea atmosferică, starea mării și nebulozitatea;

– relevmente ale punctelor în vedere și ale farurilor.

Pe pagina din dreapta a jurnalului de bord se înscriu datele importante ale cartului executat: evenimente la bord, schimbări de drum, nave în vedere, observații care interesează navigația, punctul estimat în care s-a predat cartul.

Tot pe pagina din dreapta se înscriu: observațiile și ordinele comandantului.

Jurnalul de bord, în navigație, se scrie de către ofițerul de cart, care îl semnează la terminarea cartului.

2 Măsuri necesare pentru ridicarea preciziei estimei

Din cele arătate mai sus la §6 rezultă că la bordul unei nave, precizia estimei este funcție de : precizia indicațiilor de drum și de distanța parcursă ale compasurilor și respectiv lochurilor; acuratețea guvernării navei în drumul compas ordonat; competența comandantului și a ofițerilor de cart în determinarea corectă a drumului și a distanței parcurse în intervalul de timp considerat, în funcție de calitățile nautice ale navei și de condițiile de navigație.

A *Măsuri privind precizia indicațiilor compasurilor și a lochurilor de la bord*

În perioada de construcție trebuie acordată o deosebită atenție pentru dotarea navei cu compasuri și cu lochuri de calitate și performanțe superioare, știind că acestea constituie aparatura de navigație de bază în conducerea navei. Pe timpul exploatării navei, trebuie asigurată o întreținere atentă, conform indicațiilor din cartea

instalațiilor respective, ceea ce presupune o temeinică cunoaștere a lor de către personalul de la bord.

Corecția compasului giroscopic trebuie determinată prin procedeele de navigație cele mai precise și verificată pe timpul navigației de către ofițerii de cart, de câte ori condițiile permit (vezi cap.25).

Compasurile magnetice (sau compasul magnetic cu reflexie) trebuie compensate de persoane autorizate, de câte ori situația impune (când deviațiile compasului etalon depășesc 3°, iar cele ale compasului de drum 5°); determinarea completă a deviațiilor se execută de către comandantul navei, când deviațiile magnetice observate prezintă diferențe mai mari de 0°.5 față de cele conținute în *tabela de deviații*. Determinarea deviațiilor se efectuează, de asemenea, după orice încărcare sau descărcare de mărfuri cu proprietăți magnetice.

În navigație, ofițerul de cart este obligat să efectueze cel puțin un control al corecției compasurilor de la bord, pe timpul cartului său.

Factorul de corecție al lochului trebuie verificat pe timpul navigației de câte ori condițiile permit; verificarea lui pe distanțe mari, la traversade, dă indicații valoroase.

B Măsuri privind guvernarea navei

Guvernarea corectă a navei de către timonieri, în diferite condiții de navigație, este o artă care se învață printr-un exercițiu metodic și perseverent, sub îndrumarea și supravegherea ofițerilor de cart. La o navă stabilă la drum, cum este cazul în general la navele maritime, *acuratețea guvernării se exprimă prin abateri minime de la drumul compas, folosind unghiuri minime de cârmă.* Chiar și în condiții de vreme rea, un timonier experimentat reușește să găsească o anumită „poziție de echilibru a cârmei", funcție de vânt și val și să asigure menținerea navei la drum evitând o acționare continuă, cu unghiuri excesive de cârmă; o acționare continuă a cârmei cu unghiuri de cârmă mari provoacă instabilitatea la drum a navei și reducerea vitezei, constituind un indiciu că timonierul respectiv nu posedă arta specialității lui; o acționare exagerată a cârmei provoacă totodată o suprasolicitare nejustificată a întregii instalații de guvernare.

Considerând că este vorba de oameni cu aptitudini normale pentru această frumoasă specialitate de la bordul navei, valoarea profesională a timonierilor în guvernarea navei oglindește în mare măsură preocuparea comandantului și a ofițerilor de cart de a-i instrui. Timonierii trebuie să cunoască temeinic instalația de guvernare a navei și modul de acționare a cârmei, în diferite condiții de navigație și regulile de bază în exploatarea compasurilor de la bord, în măsura în care interesează ținerea unui anumit drum compas și identificarea unei defecțiuni în funcționare.

Verificarea modului în care timonierul asigură guvernarea navei se face cu ajutorul trasorului de drum, comparând drumul înregistrat cu cel ordonat.

C Măsuri privind ridicarea preciziei în determinarea drumului navei și a distanței parcurse.

Comandantul navei trebuie să manifeste o preocupare continuă pentru instruirea ofițerilor care concură la serviciul de cart, în vederea ridicării competenței acestora în determinarea cât mai corectă a drumului navei și a distanței parcurse, elemente care

condiţionează precizia estimei. Comandantul şi ofiţerii de cart trebuie să observe şi să studieze cu atenţie comportarea navei în diferite stări de încărcare, funcţie de vânt şi starea mării.

Ocaziile cele mai concludente pentru analiza preciziei estimei sunt oferite de aterizările la coastă, după un interval mai mare de timp, în care s-a efectuat numai navigaţie estimată la larg. Cu asemenea prilejuri trebuie analizate şi stabilite cauzele care au generat eroarea în estimă şi măsurile necesare de luat pentru prevenirea repetării lor în viitor. Concluziile importante ale acestor analize se vor evidenţia în „Informarea pentru comandant", pentru a servi ca material documentar noilor comandanţi şi ofiţeri ambarcaţi la navă.

3 Navigaţia estimată în condiţii de incertitudine

În navigaţia estimată, mai ales în zone dificile în care în care se ivesc condiţii de incertitudine, situaţiile pot fi extrem de variate, astfel că practic nu este posibilă stabilirea unor soluţii generale pentru rezolvarea lor. Soluţiile se stabilesc în urma unei analize atente a situaţiei de navigaţie existente, funcţie de specificul zonei, a condiţiilor hidrometeorologice, de tipul navei etc.; justeţea deciziilor oglindesc maturitatea de gândire a comandantului, a navigatorului în general, fruct al cunoaşterii bazelor teoretice ale navigaţiei şi al experienţei pe mare.

Cu valoare orientativă, doar, dăm în continuare un exemplu de judecare a unei situaţii de navigaţie estimată, în condiţii de incertitudine.

Considerăm că o navă merge în drumul D_1, urmând ca în punctul Z să ia drumul D_2, între coasta aflată în tribord şi zona de adâncimi reduse, marcată prin bancul R, care trebuie lăsată la babord (fig.8-20); zona dintre ultimile linii barimetrice, indicate punctiform, prezintă adâncimi suficiente faţă de pescajul navei. Punctul A reprezintă ultima poziţie determinată prin observaţii costiere, după care vizibilitatea s-a redus, datorită ceţei; se pune problema de a se efectua trecerea zonei indicate, folosind estima grafică.

Situaţia de navigaţie poate fi judecată astfel:

– se calculează eroarea maximă probabilă ($E\ max$) pentru momentul când nava se va afla estimat în punctul Z, funcţie de distanţa m_1 ($=AZ$), eroarea maximă probabilă în drumul navei ε°_D şi în distanţa parcursă E_m (relaţia8-8);

– cu o rază egală cu $E\ max$ şi cu centrul în Z, se trasează cercul de incertitudine al punctului estimat al navei Z, pentru momentul schimbării de drum;

– se duc paralele la noul drum D_2, tangente la cercul de incertitudine (Z_1A şi Z_2B), punctele Z_1şi Z_2 reprezentând punctele de tangenţă;

– când nava se va afla estimat în Z, faţă de erorile maxime admise, poziţia probabilă a navei va fi într-un punct oarecare din interiorul cercului de incertitudine.

Poziţiile probabile cele mai nefavorabile ale navei ar fi punctele Z_1şi Z_2; dacă nava s-ar afla în unul din aceste două puncte, drumurile probabile cele mai periculoase ar fi de-a lungul direcţiilor Z_1C, şi respectiv Z_2F, care formează un unghi egal cu eroarea maximă probabilă ε°_D (în drumul D_2), faţă de tangentele Z_1A şi Z_2B.

Din figura 8-20 rezultă că, dacă schimbarea de drum se efectuează în punctul Z și se ia drumul D_2, față de erorile maxime probabile admise, nava se va deplasa într-un sector delimitat de direcțiile Z_1C și Z_2F, în care se asigură o adâncime suficientă a apei. Dacă, de exemplu, direcția Z_2F ar intersecta linia batimetrică limită spre bancul R, s-ar putea transla întregul sistem spre coastă, reducând distanța $m_l = AZ$, prin efectuarea mai devreme a schimbării de drum, o altă soluție în acest caz ar putea fi modificarea drumului D_2, într-o direcție convenabilă:

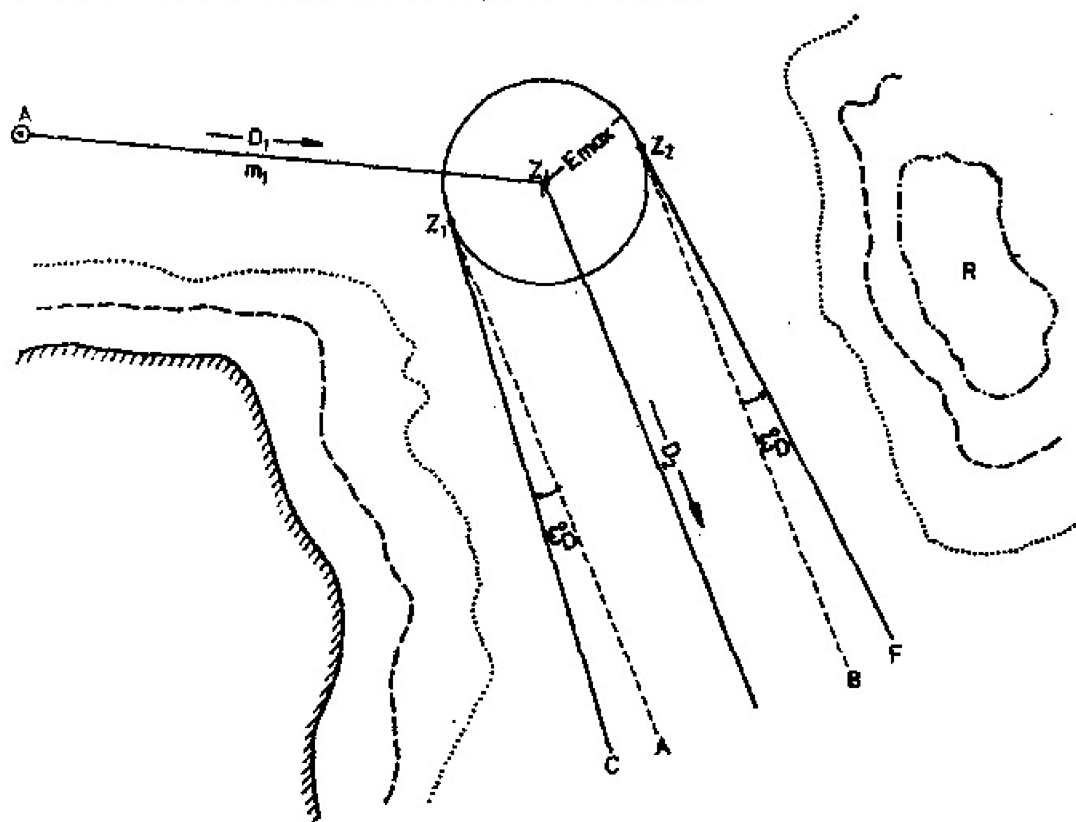


Fig. 8-20

– schimbarea de drum în punctul Z într-o asemenea situație se efec uează după indicațiile lochului. Presupunem că cl_A reprezintă citirea la loch în pur .tul observat A; se calculează distanța loch m_l, în funcție de distanța $m_1 = AZ$ și factorul de corecție al lochului f ..... $m_l = \frac{m_1}{l}$ (relația 5-9). Citirea la loch cl_Z, în punctul Z, care va indica momentul schimbării de drum se obține din relația: $cl_Z = cl_A + m_l$.

Acesta ar fi modul în care s-ar judeca o asemenea situație de navigație, considerând că am avea la dispoziție doar mijloacele navigației estimate: compasul și lochul; desigur, că în funcție de dotarea navei și cu alte mijloace de navigație, precum și de asigurarea de navigație a coastei, în judecarea unei asemenea situații de incertitudine măsurile de siguranță pentru conducerea navei ar putea fi practic considerabil amplificate.

9 ESTIMA PRIN CALCUL

§1 Considerații introductive

Așa cum s-a arătat în capitolul 8, *estima prin calcul* constituie procedeul navigației estimate folosit pentru determinarea poziției navei din drumul navei și distanța parcursă, prin aplicarea unor formule matematice.

La bordul navelor maritime comerciale, estima prin calcul se folosește în navigația oceanică, la traversade, când scara hărților utilizate pentru rezolvarea problemelor fundamentale ale navigației estimate nu oferă precizia necesară rezolvării lor grafice.

Estima prin calcul este utilizată în practica navigației oceanice pentru rezolvarea celor două probleme fundamentale ale estimei: problema directă și problema inversă.

Problema directă a estimei

Se dă: poziția de plecare a navei, prin coordonatele ei geografice (φ_1; λ_1), drumul urmat de navă D și distanța parcursă m.

Se cer: coordonatele punctului de sosire (φ_2; λ_2).

Pentru rezolvarea problemei directe a estimei, așa după cum se vede în cele ce urmează, se calculează mai întâi diferențele de coordonate $\Delta\varphi$ și $\Delta\lambda$ realizate prin deplasarea navei în drumul D la distanța m, cu ajutorul cărora se determină coordonatele punctului de sosire folosind formulele (1-6 și 1-6′)

$$\varphi_2 = \varphi_1 + \Delta\varphi$$

$$\lambda_2 = \lambda_1 + \Delta\lambda$$

Problema inversă a estimei

Se dau: coordonatele punctului de plecare (φ_1; λ_1) și ale celui de sosire (φ_2; λ_2).

Se cer: drumul D pe care nava trebuie să-l urmeze între cele două puncte și distanța de parcurs m.

Drumul pe care nava trebuie să-l urmeze între cele două puncte și distanța de parcurs se calculează din diferențele de coordonate $\Delta\varphi$ și $\Delta\lambda$ dintre cele două puncte, determinate din relațiile (1-4 și 1-5):

$$\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$$

$$\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$$

§2 Formula diferenţei de latitudine

Considerăm o navă care pleacă din punctul $A(\varphi_1; \lambda_1)$ în drumul D şi după ce parcurge distanţa m soseşte în puntul B $(\varphi_2; \lambda_2)$; curba AB reprezintă loxodroma descrisă de navă, care taie meridianele sub acelaşi unghi D (fig. 9-1).

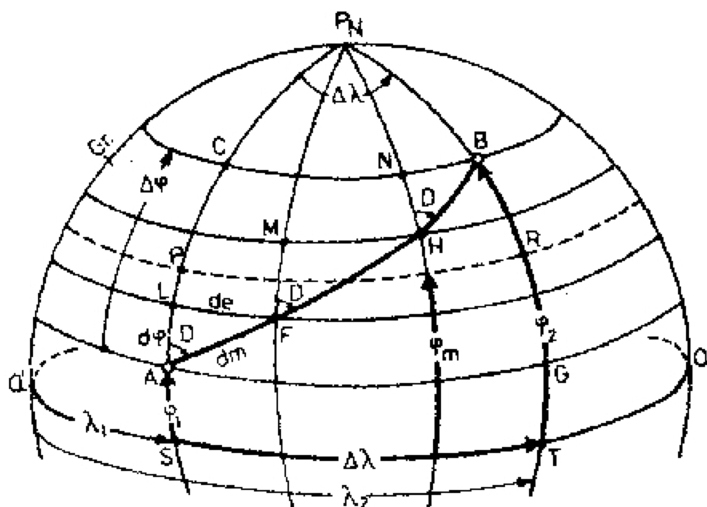


Fig. 9-1

Pe sfera terestră se formează triunghiul ABC, definit de următoarele elemente: arcul de loxodromă AB egal cu distanţa parcursă de navă m, în mile marine; arcul de meridian AC reprezintă diferenţa de latitudine $\Delta\varphi$ a punctelor A şi B; arcul de paralel CB, egal cu deplasarea est-vest e pe paralelul punctului de sosire B, de latitudine φ_2. Triunghiul ABC pe sfera terestră nu este un triunghi sferic, deoarece laturile AB şi CB nu sunt arce de cerc mare, deci nu este rezolvabil prin formulele trigonometriei sferice.

Pentru stabilirea formulei diferenţei de latitudine, ne imaginăm că arcul loxodromic AB este împărţit într-un număr infinit de mare de arce $AF = FH$ etc., egale între ele; prin fiecare punct de diviziune al loxodromei F, H etc., se trasează meridianul şi paralelul respectiv. Se formează astfel triunghiurile elementare AFL, FHM etc., dreptunghice în L, M etc., egale între ele , având ipotenuzele şi un unghi ascuţit (D) egale. Laturile acestor triunghiuri se notează astfel: ipotenuzele AF, FH etc., arce loxodromice infinit mici, cu dm; catetele AL, FM etc..., arce de meridian infinit de mici, cu $d\varphi$; catetele LF, MH etc..., arce de paralel infinit de mici, cu de. . Aceste triunghiuri fiind foarte mici pot fi considerate ca triunghiuri dreptunghice plane.

Într-un triunghi dreptunghic elementar oarecare, de exemplu AFL, cateta:

$$d\varphi = dm \cos D$$

Pentru toate triunghiurile elementare, relaţiile şi mărimile care exprimă pe $d\varphi$ sunt aceleaşi, cos D fiind un factor constant. Însumând aceste egalităţi, membru cu membru, suma arcelor de meridian a membrului din stânga determină diferenţa de latitudine $d\varphi$ dintre cele două puncte A şi B; în membrul din dreapta, suma arcelor dm

formează arcul loxodromic $m = AB$; care înmulțit cu factorul constant cos D, determină diferența de latitudine:

$$\Delta\varphi = m \cos D \qquad (9\text{-}1)$$

unde $\Delta\varphi$ este exprimat în minute de arc mare, iar m în mile marine.

Distanța parcursă m de-a lungul loxodromei fiind considerată pozitivă, rezultă că semnul algebric al lui $\Delta\varphi$ este funcție de semnul lui cos D, astfel:

$\Delta\varphi$ este pozitiv, dacă se navigă spre nord (drumul navei cuprins între 270° – 360° – 90°);

$\Delta\varphi$ este negativ, dacă se navigă spre sud (drumul navei cuprins între 90° – 180° – 270°).

În cazurile particulare când se navigă de-a lungul unui meridian, în $D = 0°$ sau $D = 180°$, $\cos D = \pm 1$, deci $\Delta\varphi = m$; când nava navigă de-a lungul unui paralel, în $D = 90°$ sau $D = 270°$, $\cos D = 0$, deci $\Delta\varphi = 0$.

§3 Formula aproximativă a diferenței de longitudine

Într-un triunghi dreptunghic elementar oarecare, de exemplu AFL, cateta:

$$de = dm \sin D$$

Procedând în mod analog ca în cazul de mai sus și însumând membru cu membru toate egalitățile care exprimă pe de, deduse din totalitatea triunghiurilor elementare, se obține:

$$e = m \sin D \qquad (9\text{-}2)$$

unde e reprezintă deplasarea est-vest obținută din suma arcelor de paralele de, cuprinse între paralele φ_1 și φ_2 ; atât e cât și m se exprimă în mile marine.

Egalitatea (9-2) arată că:

– deplasarea est-vest este zero când se navigă de-a lungul unui meridian ($D = 0°$ sau 180°, $\sin D = 0$). În acest caz, diferența de longitudine dintre punctul de plecare și cel de sosire este de asemenea zero;

– deplasarea est– vest e (în mile marine) este egală cu distanța parcursă m, când se navigă de-a lungul unui paralel de latitudine φ ($D = 90°$ sau 270° $\sin D = \pm 1$). În acest caz diferența de longitudine $\Delta\lambda$ dintre meridianul punctului de plecare și al celui de sosire este dată de relația cunoscută (7-4);

$$\Delta\lambda = e \sec \varphi$$

Pentru cazul considerat (fig. 9-1), când punctele A și B sunt situate pe paralele diferite, deci $\varphi_1 \neq \varphi_2$, diferența lor de longitudine $\widehat{ST}$ este egală cu arcul unui paralel oarecare cuprins între meridianele punctelor A și B înmulțit cu secanta latitudinii acestui paralel. Astfel, diferența de longitudine a punctelor A și B poate fi determinată funcție de arcul de paralel $\widehat{PR}$, situat la *latitudinea medie* $\varphi_m = \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2} = \varphi_1 + \frac{\Delta\varphi}{2} = \varphi_2 - \frac{\Delta\varphi}{2}$; în acest caz: $\widehat{ST} = \widehat{PR} \sec \varphi_m$

Mai sus, am arătat că deplasarea est-vest e dată de relaţia (9-2) reprezintă suma arcelor de paralel de, cuprinse între paralele φ_1 şi φ_2. Dar e, astfel calculat, este diferit atât de deplasarea est-vest $\widehat{AG}$, de pe paralelul punctului de plecare A, cât şi de deplasarea est-vest $\widehat{CB}$, de pe paralelul punctului de sosire B. Mărimea cea mai probabilă a deplasării est-vest e, exprimată de relaţia (9-2), în anumite condiţii, poate fi considerată de valoarea deplasării est-vest $\widehat{PR}$, pe paralelul latitudinii medii φ_m, dată de relaţia:

$$\widehat{PR} = e = \Delta\lambda \cos \varphi_m \qquad (9\text{-}3)$$

unde $\Delta\lambda$ reprezintă diferenţa de longitudine $\lambda_2 - \lambda_1$ a punctelor A şi B. Rezultă că, subsituind pe e (relaţia 9-2) prin deplasarea est-vest $\widehat{PR}$ pe paralelul latitudinii medii φ_m, în anumite condiţii (care urmează a fi stabilite în continuare), diferenţa de longitudine $\Delta\lambda$ poate fi obţinută din relaţia:

$$\Delta\lambda = e \sec \varphi_m \qquad (9\text{-}4)$$

cunoscută sub denumirea de *formula aproximativă a diferenţei de longitudine*; $\Delta\lambda$ se exprimă în minute de arc, iar e în mile marine.

În cazul considerat (fig.9-1), deplasarea est-vest e exprimată de relaţia (9-2), ca şi deplasarea est-vest $\widehat{PR}$ pe paralelul latitudinii medii, le putem presupune ca fiind formate dintr-o serie de arce de paralel foarte mici, astfel:

– deplasarea est-vest $\widehat{PR}$ formată din arce de paralel mediu (separate de meridianele imaginare care trec prin punctele de diviziune ale loxodromiei), egale între ele;

– deplasarea est-vest e (dată de relaţia 9-2) formată din suma arcelor de, aparţinând unor paralele diferite, deci inegale, cuprinse între φ_1 şi φ_2. Arcele de, a căror latitudine $\varphi > \varphi_m$, sunt mai mici decât cele corespunzătoare de pe paralelul latitudinii medii, iar cele a căror latitudine $\varphi < \varphi_m$, sunt mai mari. Suma lor, egală cu deplasarea est-vest e, în anumite condiţii poate fi considerată practic egală cu deplasarea est-vest $\widehat{PR}$ pe paralelul latitudinii medii.

Concluzia poate fi însă diferită la latitudini mari, în anumite drumuri când punctele A şi B s-ar afla, de exemplu, în emisfere diferite şi latitudinile φ_1 şi φ_2 ar fi egale în valoare absolută , paralelul mediu s-ar confunda cu ecuatorul ($\varphi_m = 0°$). Într-un asemenea caz, toate arcele de care constituie deplasarea est-vest e ar fi mai mici decât arcele corespunzătoare de pe paralelul mediu reprezentate în situaţia dată prin arce de ecuator. Într-un asemenea caz, deci $e \neq \widehat{PR}$.

Eroarea diferenţei de longitudine obţinută prin formula aproximativă (9-4) este funcţie de: latitudinea medie φ_m, diferenţa de latitudine $\Delta\varphi$ sau distanţa parcursă m şi de valoarea drumului D, având tendinţa de a creşte cu φ_m şi m, respectiv $\Delta\varphi$. Se impune deci de a analiza formula aproximativă a diferenţei de longitudine şi de stabili reguli practice de aplicare a ei în navigaţie.

§4 Analiza formulei aproximative a diferenței de longitudine. Reguli practice de aplicare

Latitudinea punctului de sosire fiind $\varphi_2 = \varphi m + \frac{\Delta\varphi}{2}$ și a punctului de plecare $\varphi_1 = \varphi_m - \frac{\Delta\varphi}{2}$, iar latitudinea crescândă φ_c o funcție de latitudine se poate scrie:

$$\varphi c_2 = f\left(\varphi_m + \frac{\Delta\varphi}{2}\right) \text{și } \varphi c_1 = f\left(\varphi_m - \frac{\Delta\varphi}{2}\right)$$

Aplicăm la aceste funcții dezvoltarea în serie a lui Taylor:

$$f(x+h) = f(x) + hf'(x) + \frac{h^2}{2}f''(x) + \frac{h^3}{6}f'''(x) + \ldots\ldots$$

unde:

$x = \varphi m$, $h = \frac{\Delta\varphi}{2}$, iar $f_{(x)} = \varphi cm = \log\text{tg}\left(45^\circ + \frac{\varphi m}{2}\right)$, în care derivata întâi $f'(x) = \frac{1}{\cos\varphi m}$, derivata a doua $f''(x) = \frac{\sin\varphi m}{\cos^2\varphi m}$, iar derivata a treia:

$$f'''(x) = \frac{\cos^3\varphi m + 2\cos\varphi m \sin^2\varphi m}{\cos^4\varphi m}$$

Dezvoltarea în serie a lui φc_2 conduce la :

$$\varphi c_2 = f\left(\varphi m + \frac{\Delta\varphi}{2}\right) = f(\varphi m) + \frac{\Delta\varphi}{2\cos\varphi m} + \frac{\Delta\varphi^2 \sin\varphi m}{8\cos^2\varphi m} + \frac{\Delta\varphi^3(\cos^3\varphi m + 2\cos\varphi m \sin^2\varphi m)}{48\cos^4\varphi m};$$

ultimul termen poate fi simplificat în forma:

$$\frac{\Delta\varphi^3(\cos^3\varphi m + 2\cos\varphi m \sin^2\varphi m)}{48\cos^4\varphi m} = \frac{\Delta\varphi^3(\cos^2\varphi m + 2\sin^2\varphi m)}{48\cos^3\varphi m} = \frac{\Delta\varphi^3(1+\sin^2\varphi m)}{48\cos^3\varphi m}$$

Aplicând aceeași dezvoltare în serie a lui $\varphi c_1 \left(= \varphi m - \frac{\Delta\varphi}{2}\right)$, se obține:

$$\varphi c_1 = f(\varphi m) - \frac{\Delta\varphi}{2\cos\varphi m} + \frac{\Delta\varphi^2 \sin\varphi m}{8\cos^2\varphi m} - \frac{\Delta\varphi^3(1+\sin^2\varphi m)}{48\cos^3\varphi m}$$

De unde:

$$\Delta\varphi c = \varphi c_2 - \varphi c_1 = \frac{\Delta\varphi}{\cos\varphi m} + \frac{\Delta\varphi^3(1+\sin^2\varphi m)}{24\cos^3\varphi m}.$$

Știind că $\Delta\lambda = \Delta\varphi c \cdot \text{tg } D$ (relația 9-12), se poate scrie:

$$\Delta\lambda = \frac{\Delta\varphi}{\cos\varphi m}\text{tg} D + \frac{\Delta\varphi^3(1+\sin^2\varphi m)}{24\cos^3\varphi m}\text{tg} D. \qquad (9\text{-}5)$$

Împărțind $e = m \sin D$ (formula 9-2) la $\Delta\varphi = m \cos D$ (formula 9-1), membru cu membru, se obține: $\text{tg } D = \frac{e}{\Delta\varphi}$ sau $e = \Delta\varphi \text{ tg } D$; deci, primul termen al membrului din dreapta al egalității (9-5) se poate scrie în forma: $\Delta\varphi \text{ tg } D \sec \varphi m = e \sec\varphi m$. Rezultă că relația (9-5) devine:

$$\Delta\lambda = e \sec \varphi m + \frac{\Delta\varphi^3(1+\sin^2 \varphi m)}{24\cos^3 \varphi m} \text{tg} D \qquad (9\text{-}6)$$

Relația (9-6) arată că primul termen al membrului din dreapta, $e \sec \varphi m$, exprimă pe $\Delta\lambda$ (formula 9-4); termenul al doilea, pe care îl notăm cu ε,

$$\varepsilon = \frac{\Delta\varphi^3(1+\sin^2 \varphi m)}{24\cos^3 \varphi m} \text{tg} D, \qquad (9\text{-}7)$$

reprezintă eroarea care se introduce în diferența de longitudine $\Delta\lambda$, când se calculează cu formula aproximativă (9-4).

Formula (9-7) arată că eroarea în $\Delta\lambda$ calculată prin formula aproximativă este funcție de: diferența de latitudine $\Delta\varphi$, latitudinea medie φm și drumul navei D; această relație (9-7) se utilizează la stabilirea condițiilor practice de aplicare a formulei aproximative pentru calculul diferenței de longitudine, în funcție de mărimea diferenței de latitudine (la rezolvarea problemei inverse a estimei).

Pentru a stabili mărimea erorii ε, în minute de arc și funcție de distanța parcursă m, în mile marine, știind că $\Delta\varphi = m \cos D$ (relația 9-1), expresia de mai sus (9-5) devine:

$$\varepsilon = \frac{m^3 \cos^3 D}{24} \cdot \frac{1+\sin^2 \varphi m}{\cos^3 \varphi m 3438^2} \cdot \text{tg} D = \frac{m^3}{24} \cdot \frac{1+\sin^2 \varphi m}{\cos^2 \varphi m} \cdot \frac{\sin D \cos^2 D}{3438^2} \qquad (9\text{-}8)$$

Formula (9-8) arată că eroarea ε depinde de: distanța parcursă m, latitudinea medie φm și drumul navei D.

Ea se folosește pentru stabilirea condițiilor practice a formulei aproximative a diferenței de longitudine, în funcție de distanța parcursă m (în cazul problemei directe a estimei).

Valoarea drumului D, care produce eroarea maximă în $\Delta\lambda$, este aceea care determină mărimea maximă a produsului: $\sin D \cos^2 D$ (ultimul termen al formulei 9-8). Derivând această expresie și egalând derivata cu zero, se obține:

$$\cos^3 D - 2 \cos D \sin^2 D = \cos D(\cos^2 D - 2 \sin^2 D) = \cos D(1 - 3 \sin^2 D) = 0.$$

Împărțind ultima expresie cu $\cos D$, se deduce:

$1 - 3 \sin^2 D = 0$; de unde: $\sin D = \frac{1}{\sqrt{3}}$, iar $D \cong 35°$ (cu valoare cuadrantală).

Considerând drumul navei de 35° (145°, 215° sau 325°), la latitudinea medie $\varphi m = 60°$ și distanța parcursă $m = 300$ Mm, eroarea în $\Delta\lambda$ calculat prin formula

aproximativă (9-4) este de 0'.5. Stabilind valoarea 0'.5, ca eroare maximă admisă în calculul diferenței de longitudine $\Delta\lambda$, se conclude că formula aproximativă ($\Delta\lambda = e \sec \varphi m$) se poate aplica în practica navigației în următoarele condiții:

– *la latitudini medii* $\varphi m < 60°$*;*

– *când distanța parcursă de navă* $m < 300$ *Mm sau diferența de latitudine* $\Delta\varphi < 5°$.

Când aceste condiții nu sunt satisfăcute, diferența de longitudine se calculează cu ajutorul formulelor exacte.

§5 Formulele exacte ale diferenței de longitudine

1 Formula exactă a diferenței de longitudine în funcție de diferența de latitudine crescândă

Considerăm punctele *A* și *B*, situate la o distanță foarte mică unul de altul (fig. 9-2). Triunghiul *ABC*, format prin intersecția loxodromei care leagă cele două puncte, meridianul P_NA și paralelul punctului *B*, dreptunghic în *C*, poate fi socotit ca plan, dat fiind apropierea punctelor *A* și *B*; el este definit de următoarele elementele:

– cateta $AC = \Delta\varphi$;

– unghiul D = drumul loxodromic al navei;

– cateta $CB = e = \Delta\varphi \cdot \text{tg}\, D$.

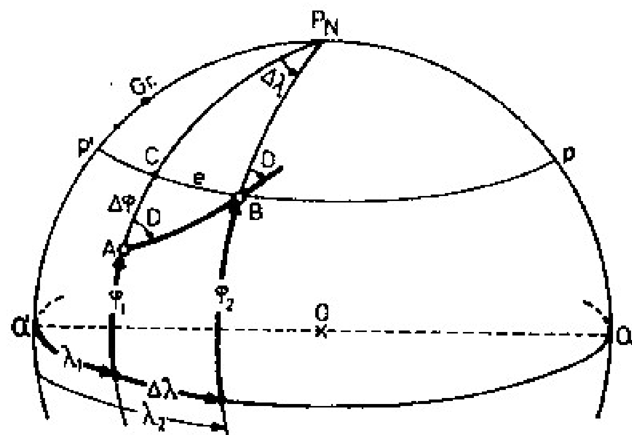


Fig. 9-2

Știind că deplasarea est-vest $e = \Delta\lambda \cos \varphi$ (formula 7-3'), se poate scrie:

$$\Delta\lambda \cos \varphi = \Delta\varphi \,\text{tg}\, D,$$

de unde:

$$\Delta\lambda = \text{tg}\, D \frac{\Delta\varphi}{\cos\varphi} \qquad (9\text{-}9)$$

Diferențiind ecuația (9-9), factorul tg *D* fiind o constantă, se deduce:

$$d\lambda = \text{tg}\, D \frac{d\varphi}{\cos\varphi} \qquad (9\text{-}10)$$

Se integrează expresia (9-10), în limitele de la λ_1 la λ_2 şi de la φ_1 la φ_2:

$$\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \mathrm{d}\lambda = \mathrm{tg} D \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \frac{\mathrm{d}\varphi}{\cos\varphi}$$

şi se obţine* :

$$\Delta\lambda = \mathrm{tg}\, D\left[\ln \mathrm{tg}\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi_2}{2}\right) - \ln \mathrm{tg}\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi_1}{2}\right)\right] \ldots\ldots \qquad (9\text{-}11)$$

Ecuaţia (9-11) reprezintă *formula exactă a diferenţei de longitudine* dintre punctele $A(\varphi_1; \lambda_1)$ şi $B(\varphi_2; \lambda_2)$.

Relaţia (7-10) arată că expresia în tg $\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi}{2}\right)$ redă latitudinea crescândă φ_c, în mile ecuatoriale, la latitudinea φ, în proiecţie Mercator; expresia din paranteza mare a membrului din dreapta reprezintă deci diferenţa de latitudine crescândă $\Delta\varphi_c = \varphi_{c2} - \varphi_{c1}$, între paralelele de latitudine φ_{c2} şi φ_{c1}, în proiecţie Mercator.

Rezultă că, formula exactă a diferenţei de longitudine (9-11) se poate scrie în forma:

$$\Delta\lambda = \Delta\varphi_c \cdot \mathrm{tg}\, D \qquad (9\text{-}12)$$

Formula (9-12) nu se aplică atunci când drumul navei are valori apropiate de 90° sau 270°, deoarece tg D are o variaţie mare, care poate introduce erori în calculul diferenţei de longitudine; în acest caz $\Delta\lambda$ se poate calcula în funcţie de deplasarea est-vest, în modul indicat în cele ce urmează, prin formula (9-16).

2 Formula exactă a diferenţei de longitudine în funcţie de deplasarea est-vest

Împărţind $e = m \sin D$ (formula 9-2) la $\Delta\varphi = m \cos D$ (formula 9-1) se obţine:

$$\mathrm{tg} D = \frac{e}{\Delta\varphi} \qquad (9\text{-}13)$$

---

* Transformarea şi integrarea expresiei $\frac{\mathrm{d}\varphi}{\cos\varphi}$, în forma prezentată la stabilirea formulei latitudinii crescânde (7-10), a condus la:

$$\int \frac{\mathrm{d}\left[\mathrm{tg}\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi}{2}\right)\right]}{\mathrm{tg}\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi}{2}\right)} = \ln \mathrm{tg}\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi}{2}\right) + C$$

Dacă această expresie se integrează în limitele de la φ_1 la φ_2, se obţine:

$$\int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \frac{\mathrm{d}\varphi}{\cos\varphi} = \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \frac{\mathrm{d}\left[\mathrm{tg}\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi}{2}\right)\right]}{\mathrm{tg}\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi}{2}\right)} = \ln \mathrm{tg}\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi_2}{2}\right) - \ln \mathrm{tg}\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi_1}{2}\right).$$

Introducând expresia (9-13) în (9-12), rezultă *formula exactă a diferenței de longitudine de deplasarea est-vest:*

$$\Delta\lambda = e\frac{\Delta\varphi_c}{\Delta\varphi} \qquad (9\text{-}14)$$

Deplasarea est-vest e din relația (9-14) reprezintă arcul unui anumit paralel, cuprins între paralele de latitudine φ_1 și φ_2, diferit de arcul de paralel la latitudinea medie φm; am putea să-l definim ca arcul paralelului de latitudine φ_s, egal cu e. Și pentru că produsul $e \sec \varphi_s$ trebuie să fie egal cu $\Delta\lambda$, dat de relația (9-12), se poate scrie:

$$e \sec \varphi_s = \Delta\varphi_c \cdot \operatorname{tg} D$$

de unde:

$$\sec \varphi_s = \frac{\Delta\varphi c \cdot \operatorname{tg} D}{e} = \frac{\Delta\varphi c \dfrac{\sin D}{\cos D}}{m \sin D} = \frac{\Delta\varphi c}{m \cos D} = \frac{\Delta\varphi c}{\Delta\varphi} \qquad (9\text{-}15)$$

Determinând latitudinea φ_s din relația (9-15), diferența de longitudine $\Delta\lambda$ în funcție de deplasarea est-vest e se calculează prin formula exactă:

$$\Delta\lambda = e \sec \varphi_s \qquad (9\text{-}16)$$

§6 Rezolvarea problemei directe a estimei

Pentru rezolvarea problemei directe a estimei se dau: punctul de plecare $A(\varphi_1; \lambda_1)$, drumul navei D și distanța parcursă m; Se cere: punctul de sosire B $(\varphi_2; \lambda_2)$.

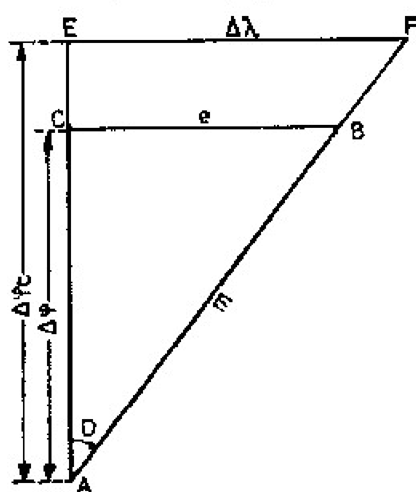


Fig. 9-3

Formulele pentru rezolvarea problemelor estimei prin calcul se deduc din relațiile prezentate mai sus, în acest capitol; în practica navigației estimate, mai simplu, ele pot fi deduse prin aplicarea formulelor trigonometriei plane în *triunghiul de drum* (*ABC*), respectiv în *triunghiul Mercator* (*AEF*), din fig. 9-3.

Triunghiul de drum ABC reprezintă triunghiul de pe sfera terestră format prin intersecția loxodromei care leagă punctele A și B, considerate apropiate unul de altul, cu meridianul punctului A și paralelul punctului B. Dat fiind apropierea celor două

puncte, triunghiul *ABC*, perpendicular în *C*, se poate considera plan, fiind definit de elementele: loxodroma *AB* = distanța parcursă *m*, în mile marine; cateta *AC* = diferența de latitudine $\Delta\varphi$; cateta *CB* = deplasarea est-vest *e*, în mile marine; $\sphericalangle$ *CAB* = drumul navei *D*.

Triunghiul Mercator AEF reprezintă proiecția Mercator a triunghiului de drum *ABC* și este definit de elementele : cateta $AE = \Delta\varphi_c = \varphi_{c2} \pm \varphi_{c1}$, în mile ecuatoriale; cateta $EF = \Delta\lambda$, în mile ecuatoriale ; ipotenuza *AF* = proiecția loxodromei *AB* = distanța parcursă *m*, în mile marine.

1 Rezolvarea în funcție de latitudinea medie

Metoda se aplică la latitudini medii $\varphi m < 60°$ și când distanța parcursă $m < 300$ Mm. Problema se rezolvă astfel:

– se calculează diferența de latitudine $\Delta\varphi$ (formula 9-1 sau dedusă din triunghiul *ABC*):

$$\Delta\varphi = m \cos D$$

– se calculează latitudinea punctului de sosire *B*:

$$\varphi_2 = \varphi_1 + \Delta\varphi;$$

– se calculează deplasarea est-vest (formula 9-2 sau dedusă din triunghiul *ABC*)

$$e = m \sin D$$

– se calculează diferența de longitudine în funcție latitudinea medie φ_m (formula 9-4):

$$\Delta\lambda = e \sec \varphi_m,$$

unde:

$$\varphi_m = \varphi_1 + \frac{\Delta\varphi}{2} = \varphi_2 - \frac{\Delta\varphi}{2} = \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2}$$

– se calculează longitudinea punctului de sosire:

$$\lambda_2 = \lambda_1 + \Delta\lambda;$$

În practica navigației, problema se rezolvă folosind *tablele de punct*, conținute în orice tablă nautică; în *Tablele Nautice MT – 53*, formula (9-1) pentru calculul diferenței de latitudine și formula 9-2) pentru calculul deplasării est-vest sunt rezolvate de *tabla 24*; formula (9-4) pentru calculul diferenței de longitudine este rezolvată de *tabla 25*. Modul de folosire al acestor table poate fi urmărit din rezolvarea exemplelor de mai jos.

Dacă între punctul de plecare și cel de sosire nava a mers într-un singur drum, punctul de sosire astfel obținut se numește *punct estimat simplu*. Dacă nava a urmat mai multe drumuri, punctul de sosire se numește *punct estimat compus;* în acest caz, diferențele de coordonate $\Delta\varphi$ și $\Delta\lambda$ realizate între *A* și *B* se obțin din suma diferențelor de latitudine $\Delta\varphi_1$ și $\Delta\varphi_2$ etc... și a deplasărilor est-vest e_1, e_2 etc., determinate în funcție de drumurile urmate D_1, D_2 etc. și distanțele parcurse pe drumurile respective m_1, m_2 etc. Diferența de longitudine $\Delta\lambda$ se calculează apoi din suma deplasărilor est-vest.

Exemplul 1: *Calculul punctului estimat simplu*. O navă pleacă din punctul φ_1 = 44°05′ N; λ_1 = 28°50′ E în *Da* = 42° și parcurge distanța *m* = 50 Mm. Se cer coordonatele punctului de sosire φ_2 și λ_2.

Rezolvare:Se intră în *tabla 24 (MT – 53)* cu *Da* = 42°și *m* = 50 Mm; se obține Δφ= 37′.16 și *e* = 33.46 Mm.

a – Calculul lui φ_2 și φm

$$\begin{array}{r} \varphi_1 = +44°05' \\ +\Delta\varphi = +\quad 37'\cdot 2 \\ \hline \varphi_2 = +44°42'\cdot 2 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} -\dfrac{\Delta\varphi}{2} = \pm 18'\cdot 6 \\ \hline \varphi m = +44°23'\cdot 6 \end{array}$$

b – Calculul lui λ_2

$$\begin{array}{r} \lambda_1 = +28°50' \\ +\Delta\lambda = +\quad 46'\cdot 8 \\ \hline \lambda_2 = +29°36'\cdot 8 \end{array}$$

Observații: Δφ are semnul plus deoarece drumul navei este nordic (cuprins în cadranul NE); Δλ are semnul plus, pentru că drumul navei este estic.

Diferența de longitudine Δλ se obține din *tabla 25 (MT – 53)*, în funcție de φm și *e* astfel: Δλ = (4′.20 X 10) + 4′.20 + 0′.56 + 0′.08 = 46′.84 (vezi „*Explicarea tablelor*" *MT – 53*, *tabla* 25, p.23).

Exemplul 2: Calculul punctului estimat compus.

O navă pleacă din φ_1 = 44°10′ N; λ_1 = 29°05′ E. Merge în drumurile și parcurge distanțele următoare:

Da_1 = 132° .... m_1 = 36 Mm;
Da_2 = 41° .... m_2 = 14 Mm;
Da_3 = 304° .... m_3 = 10 Mm.

Se cer coordonatele punctului de sosire.

Rezolvare:

Pentru calculul coordonatelor punctului estimat compus se procedează astfel:

– se calculează diferențele de latitudine și deplasările est-vest pentru fiecare drum și distanță parcursă, în parte;

– se face suma algebrică a diferențelor de latitudine și a deplasărilor est-vest;

– se calculează φ_2 și φ_m;

– se calculează Δλ din suma deplasărilor est-vest și φ_m;

– se calculează λ_2.

Pentru rezolvare se folosește următoarea schemă de calcul:

Da	Distanța m	Δφ		e	
		+	–	+	–
132° 41 304	36 Mn 14 10	 10.57 5.59	24.09	26.75 9.18	 8.29
		16.16	–24.09 +16.16 – 7.93	+35.93 – 8.29 +27.64	

Calculul lui φ_2 și φ_m

$$\begin{array}{rl} \varphi_1 & = +44°10'.0 \\ +\Delta\varphi & = - \quad 7'.9' \\ \hline \varphi_2 & = +44°02'.1 \\ \frac{\Delta\varphi}{2} & = - \quad 4'.0 \\ \hline \varphi m & = +44°06'.1 \end{array}$$

Calculul lui λ_2

$$\begin{array}{rl} \varphi_1 & = +29°05'.0 \\ +\Delta\lambda & = + \quad 38'.4 \\ \hline \lambda_2 & = +29°43'.4 \end{array}$$

Diferența de longitudine $\Delta\lambda$ s-a obținut din *tabla 25 (MT – 53)* în funcție de φ_m și *e* astfel: $\Delta\lambda = (2.78 \text{ X } 10) + 9.75 + 0.84 + 0.05 = 38'\ 44$.

2 Rezolvarea în funcție de diferența de latitudine crescândă

În practica navigației, metoda se aplică la latitudini mari ($\varphi_m > 60°$) și când distanța parcursă $m > 300$ Mm.

Problema se rezolvă astfel:

– se calculează diferența de latitudine $\Delta\varphi$ (formula 9-1):

$$\Delta\varphi = m \cos D;$$

– se calculează latitudinea punctului de sosire:

$$\varphi_2 = \varphi_1 + \Delta\varphi;$$

– se calculează diferența de latitudine crescândă $\Delta\varphi_c$

$$\Delta\varphi_c = \varphi_{c2} \pm \varphi_{c1},$$

expresie în care se dă semnul minus, când latitudinile sunt de același semn și semnul plus, când latitudinile sunt de semne contrarii;

– se calculează diferența de longitudine (formula 9-12)

$$\Delta\lambda = \Delta\varphi_c \cdot \operatorname{tg} D;$$

– se calculează longitudinea punctului de sosire:

$$\lambda_2 = \lambda_1 + \Delta\lambda.$$

În cazul în care drumul navei este apropiat de 90° sau 270°, diferența de longitudine se calculează în funcție de deplasarea est-vest, prin formula (9-16):

$$\Delta\lambda = e \sec \varphi_s,$$

unde:

$$\varphi_s = \frac{\Delta\varphi c}{\Delta\varphi} \qquad \text{(formula 9-15).}$$

Exemplul 3. O navă pleacă din punctul $\varphi_1 = 53°20'$ N; $\lambda_1 = 37°12'$ W în $Da = 319°$ și parcurge distanța $m = 510$ Mm. Se cer coordonatele punctului de sosire.

Rezolvare

a – Calculul lui φ_2

$\varphi_1 = +53°20'$
$+\Delta\varphi = +\ \ 6°24'.9$
$\varphi_2 = +59°44'.9$

b – Calculul lui $\Delta\varphi_c$

$\varphi c_2 = 4477.4$ ... *tabla 26 (MT – 53)*
$-\varphi c_1 = 3778.6$
$\Delta\varphi_c = \ 698.8$

c – Calculul lui $\Delta\lambda$

$\Delta\lambda = \Delta\varphi c \cdot \text{tg}\, D$

$\log \Delta\varphi c = 2.84435$
$\log \text{tg}\, Da = 9.93916$
$\log \Delta\lambda = 2.78351$
$\Delta\lambda = -607'.5 = -10°07'.5$

d – Calculul lui λ_2

$\lambda_1 = -37°12'$
$+\Delta\lambda = -10°07'.5$
$\lambda_2 = -47°19'.5$

Observații:

– $\Delta\varphi$ s-a calculat cu ajutorul *tablei 24 (MT– 53)*, astfel:

– pentru $Da = 319°$ și $m = 51$ Mm ... $\Delta\varphi = 38'.49$

– pentru $Da = 319°$ și $m = 510$ Mm ... $\Delta\varphi = 38'.49 \times 10 = 384'.4 = 6°24'.9$

– lui $\Delta\varphi$ i s-a dat semnul plus, deoarece $Da = 319°$ este un drum nordic (cuprins în cadranul NW);

– $\log \text{tg}\, Da = \log \text{tg}\, 41°$ ... deoarece $Da = 360° - 319° = NW\ 41°$;

– lui $\Delta\lambda$ i s-a dat semnul minus, deoarece Da = 319° este un drum vestic (cuprins în cadranul NW).

§7 Rezolvarea problemei inverse a estimei

Pentru rezolvarea problemei inverse a estimei se dau: coordonatele punctelor $A(\varphi_1; \lambda_1)$ și $B(\varphi_2; \lambda_2)$; se cer: drumul navei D și distanța de parcurs m între cele două puncte.

Ca și în cazul problemei directe a estimei, formulele folosite în calcul pot fi deduse din relațiile prezentate mai sus în acest capitol, sau pot fi stabilite prin aplicarea formulelor trigonometriei plane în *triunghiul de drum ABC* și în *triunghiul Mercator AEF* (fig. 9-3).

1 Rezolvarea în funcție de latitudinea medie

În practica navigației, metoda se aplică la latitudini medii $\varphi_m < 60°$ și când diferența de latitudine $\Delta\varphi < 5°$.

Problema se rezolvă astfel:

– se calculează $\Delta\varphi$, φ_m și $\Delta\lambda$ în funcție de coordonatele punctelor $A(\varphi_1; \lambda_1)$ și $B(\varphi_2; \lambda_2)$;

– se calculează drumul navei D (formula 9-13 sau dedusă din triunghiul ABC):

$$tg\, D = \frac{e}{\Delta\varphi}$$

în care e se determină din relația (9-3):

$$e = \Delta\lambda \cos \varphi_m;$$

– se calculează distanța de parcurs m, cu una din formulele:

$$m = \Delta\varphi \sec D, \qquad (9\text{-}17)$$

dedusă din formula (9-1): $\Delta\varphi = m \cos D$ sau stabilită trigonometric din triunghiul ABC (fig. 9-3); sau:

$$m = e \operatorname{cosec} D, \qquad (9\text{-}18)$$

dedusă din relația (9-2): $e = m \sin D$ sau stabilită trigonometric din triunghiul ABC (fig. 9-3).

Ținând seama de variația mare a secantei și cosecantei la anumite valori ale drumului navei D și eroarea care ar putea fi introdusă în calculul lui m, funcție de o anumită eroare în D, se stabilesc următoarele reguli pentru folosirea celor două formule la calculul distanței de parcurs m:

– când D (cuadrantal) < 45° (deci când drumul navei în sistem circular este cuprins între 315° – 360° – 45° și 135° – 180° – 225°), distanța de parcurs m se calculează cu formula (9-17);

– când D (cuadrantal) > 45° (deci când drumul navei în sistem circular este cuprins între 45° – 90° – 135° și 225° – 270° – 315°), distanța de parcurs m se calculează prin formula (9-18).

Exemplul 4. Să se determine drumul adevărat și distanța pe care trebuie să le parcurgă o navă pentru a merge din punctul $A(\varphi_1 = 43°12'N;\ \lambda_1 = 29°23'\ E)$ în punctul $B\ (\varphi_2 = 44°18'\ N;\ \lambda_2 = 30°15'\ E)$

Rezolvare:

a – Calculul lui $\Delta\varphi$ și φ_m

$$\begin{aligned} \varphi_2 &= +44°18' \\ -\varphi_1 &= +43°12' \\ \hline \Delta\varphi &= +\ 1°06' \\ -\varphi_1 &= +43°12' \\ +\frac{\Delta\varphi}{2} &= +33' \\ \hline \varphi m &= +43°45' \end{aligned}$$

b – Calculul lui $\Delta\lambda$

$$\begin{aligned} \lambda_2 &= +30°15' \\ -\lambda_1 &= +29°23' \\ \hline \Delta\lambda &= +\ 52' \\ -\lambda_1 &= +29°23' \end{aligned}$$

c – Calculul lui Da

$$\operatorname{tg} Da = \frac{\Delta\lambda \cos \varphi m}{\Delta\varphi}$$

$$\begin{aligned} \log \Delta\lambda &= 1.71600 \\ \log \cos \varphi m &= 9.85876 \\ \operatorname{colog} \Delta\varphi &= 8.18046\text{-}10 \\ \hline \log \operatorname{tg} Da &= 9.75522 \end{aligned}$$

$Da = 29°38'.8$

$Da = NE\ 29°.6 = 29°.6$

d – Calculul lui m

$$m = \Delta\varphi \sec Da$$

$$\begin{aligned} \log \Delta\varphi &= 1.81954 \\ \log \sec Da &= 0.06094 \\ \hline \log m &= 1.88046 \\ m &= 75.9\ \text{Mm} \end{aligned}$$

Observații:

– *De* cuadrantal este cuprins în cadranul *NE* pentru că $\Delta\varphi$ este pozitiv (nordic) și $\Delta\lambda$ de asemenea pozitiv (estic);

– *Da* se determină la precizie de 0'.1 deoarece constituie un element ajutător pentru calculul distanței m. Pentru nevoile conducerii navei, *Da* cuadrantal se transformă în sistem circular și se rotunjește la precizie de 0°.1;

– *m* se calculează cu formula (9-17), deoarece *Da* cuadrantal < 45°.

2 Rezolvarea în funcție de latitudinea crescândă

În practica navigației, metoda se aplică atunci când diferența de latitudine $\Delta\varphi > 5°$, la latitudini mari ($\varphi_m > 60°$) și întotdeauna, când calculele impun o precizie riguroasă.

Problema se rezolvă astfel:

– se calculează $\Delta\varphi$ și $\Delta\lambda$, în funcție de coordonatele punctelor $A(\varphi_1;\ \lambda_1)$ și $B(\varphi_2;\ \lambda_2)$.;

– se calculează diferența de latitudine crescândă:

$$\Delta\varphi_c = \varphi_{c2} \pm \varphi_{c1},$$

expresie în care se dă semnul minus, când latitudinile sunt de același semn și semnul plus, când latitudinile sunt de semne contrarii;

– se calculează drumul navei:

$$\text{tg}\, D = \frac{\Delta\lambda}{\Delta\varphi c} \qquad (9\text{-}19)$$

formulă dedusă din relația (9-12): $\Delta\lambda = \Delta\varphi_c \cdot \text{tg}\, D$ sau stabilită trigonometric din triunghiul Mercator *AEF* (fig. 9-3);

– se calculează distanța de parcurs *m*, cu formula (9-17):

$m = \Delta\varphi \sec \varphi_m$, când drumul navei ia valori cuprinse între 315° – 360° – 45° sau 135° – 180° – 225°; se folosește formula (9-18);

$m = e \text{ cosec } D$, când drumul navei ia valori cuprinse între 45° – 90° – 135° și 225° – 270° – 315°.

Exemplul 5. Să se determine drumul adevărat și distanța pe care trebuie să o parcurgă o navă pentru a merge din punctul *A* (φ_1 = 23°32'S; λ_1 = 11°09' W) în punctul *B* (φ_2 = 34°48' S; λ_2 = 16°14' W)

Rezolvare:

a – Calculul lui $\Delta\varphi$	*b – Calculul lui* $\Delta\lambda$	*c – Calculul lui* $\Delta\varphi c$
φ_2 = – 34°48'	λ_2 = – 16°14'	φc_2 = 2216.5
– φ_1 = – 23°32'	– λ_1 = – 11°09'	– φc_1 = 1444.3
$\Delta\varphi$ = – 11°16' = – 676'	$\Delta\lambda$ = – 5°05' = –305'	$\Delta\varphi c$ = 772.2

d – Calculul lui Da

$$\text{tg } Da = \frac{\Delta\lambda}{\Delta\varphi c}$$

$$\begin{aligned} \log \Delta\lambda &= 2.48430 \\ \text{colog } \Delta\varphi c &= 7.11227 - 10 \\ \hline \log \text{tg } Da &= 9.59657 \\ Da &\simeq 21°33'.2 \\ Da &= SW\ 21°.6 = 201°.6 \end{aligned}$$

e – Calculul lui m

$$m = \Delta\varphi \sec Da$$

$$\begin{aligned} \log \Delta\varphi &= 2.82995 \\ \log \sec Da &= 0.03148 \\ \hline \log m &= 2.86143 \\ m &= 726.8 \text{ Mm} \end{aligned}$$

Observații:

– *Da* este conținut în cadranul *SW*, deoarece atât Δφ cât și Δλ au semnul minus;

– *m* se calculează cu formula (9-17), deoarece *Da* (cuadrantal) < 45°.

PARTEA A TREIA
Navigația costieră

Principiul determinării poziției navei cu observații. Linii de poziție costiere
Determinarea poziției navei cu relevmente
Determinarea punctului navei cu unghiuri orizontale
Determinarea poziției navei cu distanțe. Procedee combinate
Probleme de conducerea navei în apropierea coastei

PART III
Coastal navigation

Principle of fixing the ship by observations. Coastal position lines
Fixing the ship by bearings
Fixing the ship by horizontal angles
Fixing the ship by ranges. Combinated methods
Problems for navigations in coastal waters

22 PRINCIPIUL DETERMINĂRII POZIȚIEI NAVEI CU OBSERVAȚII. LINII DE POZIȚIE COSTIERE

§1 Considerații introductive

Navigația estimată studiază procedeele determinării continue a poziției navei folosind ca elemente de calcul – drumul și distanța parcursă de navă în intervalul de timp considerat. Așa cum s-a arătat la capitolul 8, punctul estimat al navei poate fi afectat însă de o serie de erori, determinate în principal de condițiile hidrometeorologice de navigație, calitățile nautice ale navei, guvernarea navei și de erorile aparaturii de navigație folosită pentru determinarea drumului și a distanței parcurse. De aceea, considerente de siguranța navigației, îndeosebi în zona costieră și în general în apropierea unor pericole hidrografice, impun ca punctul estimat să fie controlat de câte ori condițiile permit prin procedee ale sistemelor de navigație care au la bază observația și anume: navigația costieră, astronomică și navigația electronică.

Procedeele aplicate pentru determinarea poziției navei prin observații se stabilesc funcție de condițiile în care nava navigă, de mijloacele de navigație de la bord, precum și de reperele din zonă.

Sistemul de navigație costieră cuprinde totalitatea procedeelor de determinare a poziției navei care rezolvă problema pe baza observațiilor la obiecte de la coastă, de poziții geografice cunoscute; aceste obiecte sunt denumite *repere costiere de navigație*. Pe lângă problema de bază, aceea a determinării poziției navei, navigația costieră mai rezolvă o serie de alte probleme importante pentru conducerea navei ca: determinarea drumului cel mai favorabil pe care nava trebuie să-l urmeze în siguranță din poziția determinată spre fundul de destinație, probleme de ancorare etc.

Este bine cunoscut faptul că pericolele de navigație (funduri mici, stânci, recifuri, epave, obstrucții etc.) se află îndeosebi în zona costieră. De aceea, navigația costieră trebuie executată cu multă atenție și cu o înaltă precizie. Desigur, exigențele navigației costiere cresc considerabil, în aceeași zonă, în condiții de vizibilitate redusă și pe mare rea.

§2 Principiul determinării poziției navei cu observații. Linii de poziție

În cadrul sistemelor de navigație care au la bază observația (navigația costieră, astronomică și navigația electronică), poziția navei se determină prin intersecția a două sau mai multe locuri geometrice, denumite *linii de poziție*. *Linia de poziție*

reprezintă locul geometric al punctelor de pe suprafața Pământului, din care, măsurătorile la reperele de navigație observate au aceeași mărime.

De exemplu, o infinitate de observatori dispuși pe un cerc în jurul unui reper aflat în centrul acestuia, vor măsura aceeași distanță la acest obiect. Linia de poziție determinată în acest caz este reprezentată de *cercul de egală distanță,* care are drept centru reperul observat, iar raza egală cu distanța măsurată.

Linia de poziție deci, obținută ca rezultat al unei observații de navigație oarecare, constituie totalitatea punctelor pe care nava se poate afla în momentul observației. După natura observațiilor care stau la baza obținerii liniilor de poziție, ele pot fi de următoarele feluri: *linii de poziție costiere, astronomice* sau *linii de poziție radio.*

Poziția navei se determină prin intersecția a două sau mai multe linii de poziție, indiferent de natura lor, obținute prin executarea unor observații simultane, sau a unor *observații succesive.* Pentru cazul navei în marș se spune că punctul navei se determină cu *observații simultane* atunci când observațiile sunt executate deodată de mai mulți observatori (în funcție de numărul observațiilor) sau de un singur observator, repede una după alta, astfel ca spațiul parcurs de navă în intervalul de timp dintre observații să poată fi considerat practic neglijabil. Punctul navei determinat prin interesecția a două sau mai multe linii de poziție, ca rezultat al unor observații simultane, se numește *punct observat.*

Se spune că punctul navei se determină cu *observații succesive*, atunci când în intervalul de timp dintre observații, nava parcurge un spațiu, de care, pentru precizia necesară, trebuie să se țină seama în determinarea poziției.

Punctul navei determinat prin intersecția unor linii de poziție obținute ca rezultat al unor *observații succesive*, se numește punct *observat – estimat*; în acest caz, așa cum se arată în cele ce urmează, punctul observat – estimat se determină prin translarea liniilor de poziție, de regulă pentru momentul ultimei observații, în funcție de drumul și distanța parcursă de navă în intervalul de timp dintre observații. Punctul observat – estimat însumează toate erorile în ținerea estimei în intervalul de timp dintre observații; de aceea se impune ca în acest interval de timp estima să fie ținută cu toată atenția. Dat fiind erorile cu care poate fi afectat punctul observat în practica navigației se recomandă a se acorda prioritate aplicării procedeelor de determinare a punctului navei cu observații simultane, atunci când condițiile de navigație și de observație permit.

În cazul navei staționare, problemele de determinare a poziției navei cu ajutorul liniilor de poziție se rezolvă considerând *observațiile simultane*, indiferent de intervalul de timp care le separă.

În dreptul punctului determinat pe hartă se notează sub formă de fracție; la numărător – ora, la precizie de minut, iar la numitor – citirea la loch din momentul respectiv, la precizie de cablu. Reprezentarea grafică pe hartă a punctului navei diferă funcție de natura liniilor de poziție și de felul observațiilor (simultane sau succesive); modul de reprezentare se indică în cele ce urmează pentru fiecare procedeu în parte.

Cu o singură linie de poziție nu se poate determina poziția navei; totuși, în practica navigației o singură linie de poziție poate da indicații prețioase pentru conducerea navei, la aterizări pe anumite puncte, la evitarea unor pericole de navigație etc.

Precizia punctului observat sau observat – estimat este în funcție și de unghiul de intersecție a liniilor de poziție. În cazul determinării poziției navei cu două observații, unghiul de intersecție cel mai favorabil este de 90°, iar dacă procedeul folosit este cu trei observații, acest unghi este de 60° sau de 120°. Acest considerent determină necesitatea alegerii reperelor de navigație astfel ca direcțiile la ele să ofere pe cât posibil un unghi favorabil de intersecție a liniilor de poziție.

§3 Linii de poziție costiere

În navigația costieră, liniile de poziție folosite sunt următoarele:

– *dreapta de relevment*, obținută prin măsurarea relevmentului la un reper de navigație;

– *arcul de cerc capabil* de unghiul orizontal observat la două obiecte (sau *locul de egală diferență de relevment*)

– *cercul de egală distanță* măsurată la un obiect;

– *aliniamentul* determinat de două obiecte;

– *linia de egală adâncime a apei (linia batimetrică* sau *izobata).*

Intersecția a două sau mai multe linii de poziție costiere, obținute ca rezultat al unor *observații simultane*, determină un *punct observat costier*; acesta se însemnă pe hartă printr-un punct, înconjurat de un cerc. Dacă poziția navei se determină cu *observații succesive*, se obține un *punct observat – estimat costier*, care se reprezintă pe hartă printr-un punct plasat în centrul unui triunghi, orientat cu unul din vârfuri pe drumul navei.

1 Dreapta de relevment

Relevmentul măsurat de la navă, aflată în punctul *Z*, la un obiect de la coastă *A*, reprezintă unghiul format între planul meridianului adevărat al locului și verticalul care trece prin ochiul observatorului și obiectul relevat; aceste două plane verticale intersectează suprafața sferei terestre după două crecuri mari: meridianul locului *ZP* și cercul mare care unește punctul navei cu obiectul relevat (fig. 10-1 *a*). Meridianul locului-locului *ZP* și ortodroma *ZA* formează în punctul navei *Z* unghiul sferic *PZA*, egal cu relevmentul *R*.

Pe harta Mercator, cele două arce de cerc mare apar ca în figura 10-1 *b*: meridianul locului ca o dreaptă trecând prin *Z*, iar ortodroma *ZA* ca o curbă cu concavitatea spre ecuator; dreapta *ZA* reprezintă loxodroma care leagă cele două puncte, formând cu ortodroma în punctul *Z*, unghiul Ψ.*

Ortodroma *ZA* taie meridianele întâlnite sub unghiuri diferite. Locul geometric al punctelor de egal relevment pe sfera terestră este un *arc capabil sferic*, denumit *curbă de egal relevment* sau *izoazimutală*, care pe harta Mercator se reprezintă printr-o curbă cu concavitatea spre pol. *Curba de egal relevment* sau *izoazimutala ZA* reprezintă deci linia de poziție a tuturor punctelor, de pe care obiectul *A* se observă în același relevment *R*. Aceste noțiuni urmează a fi aprofundate în capitolul 26.

---

* Unghiul ϕ se numește *corecție ortodromică* sau *corecție Givry* (vezi Cap. 26)

În cazul navigației costiere, reperele de navigație se relevează la distanțe relativ mici, care în foarte rare cazuri depășesc 20-25 Mm. La asemenea distanțe, cele trei curbe practic se confundă, astfel că relevmentul observat la un obiect se consideră unghiul format în planul orizontului adevărat între meridianul locului și loxodroma

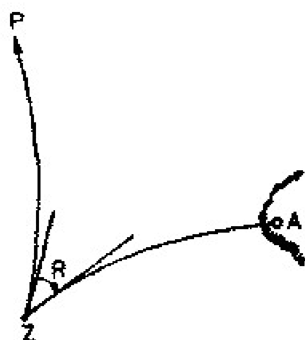


Fig. 10-1 a

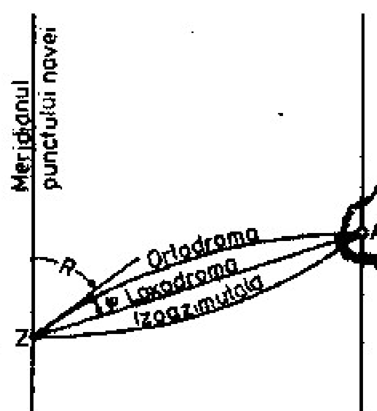


Fig. 10-1 b

care leagă punctul navei cu obiectul relevat; acest relevment se numește *relevment loxodromic*, iar linia de poziție astfel determinată se numește *dreaptă de relevment.*

Dreapta de relevment se consideră deci locul geometric al punctelor din care un obiect se vede față direcția nord adevărat sub același unghi, egal cu relevmentul loxodromic. Pe harta Mercator, relevmentul loxodromic apare ca o dreaptă care se trasează prin punctul observat *A*, ce taie meridianele sub un unghi egal cu relevmentul observat (fig. 10-2); în orice punct al acestei drepte s-ar afla nava (Z_1, Z_2, Z_3), relevmentul observat la obiect este același.

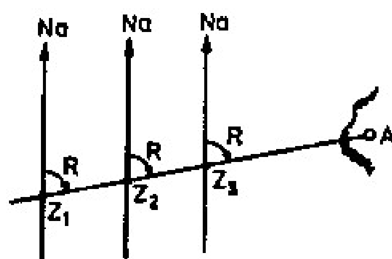


Fig. 10-2

Dreapta de relevment este linia de poziția de care se face uz cel mai frecvent în practica navigației costiere.

2 Arcul de cerc capabil de unghiul orizontal observat între două obiecte (locul de egală diferență de relevment)

În navigația costieră, unghiul orizontal cu vârful în ochiul observatorului sub care se văd două obiecte se măsoară cu sextantul sau se determină ca diferență între valorile unghiulare ale relevmentelor la cele două obiecte (relevmente compas observate sau relevmente adevărate).

Natura geometrică a liniei de poziție de egal unghi orizontal la două obiecte este destul de complexă, dacă cele trei puncte (observator și cele două obiecte) se

consideră plasate pe suprafaţa sferei terestre. Avându-se în vedere însă distanţa relativ mică ce le separă, se admite că observatorul şi obiectele observate se află în planul orizontului adevărat.

În acest caz, linia de poziţie determinată de unghiul orizontal măsurat la două obiective devine *arcul de cerc capabil de unghiul orizontal observat*; deşi natura geometrică este identică, în cazul în care unghiul orizontal se obţine din diferenţa relevmentelor observate la cele două obiecte, linia de poziţie este denumită *locul de egală diferenţă de relevment*.

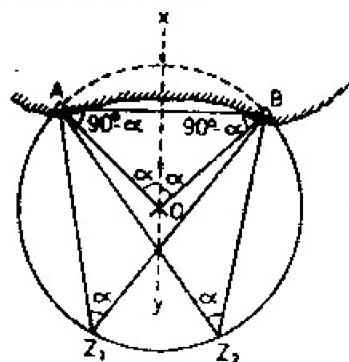


Fig. 10-3

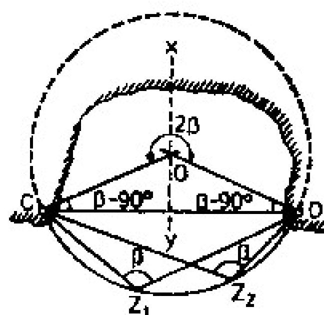


Fig. 10-4

Pentru a stabili modul de rezolvare geometrică a problemei de trasare a liniei de poziţie pe harta Mercator, considerăm că la obiectele *A* şi *B* (fig. 10-3) s-a măsurat unghiul orizontal $\alpha < 90°$, iar la obiectele *C* şi *D* (fig. 10-4) – unghiul orizontal $\beta > 90°$.

Când unghiul orizontal observat este mai mic de 90°, arcul de cerc capabil pe care se află nava se trasează astfel (fig. 10-3):

– se unesc punctele reprezentând cele două obiecte, *A* şi *B*;

– se trasează din cele două obiecte *A* şi *B* spre larg (spre poziţia navei), dreptele care formează cu segmentul *AB* un unghi egal cu $90°-\alpha$; la intersecţia *O* a celor două direcţii se află centrul arcului de cerc capabil de unghiul orizontal α. Centrul *O* mai poate fi obţinut şi ca punct de intersecţie dintre una din dreptele trasate din punctele *A* sau *B*, ce formează cu dreapta *AB* un unghi egal cu $90°-\alpha$ şi mediatoarea *xy* a segmentului *AB*;

– cu o deschizătură de compas egală cu raza *OA* = *OB* şi cu centrul în *O*, se trasează arcul de cerc capabil de unghiul α. În orice punct al arcului de cerc $AZ_1 Z_2$, ... , *B* s-ar afla nava, observatorul ar măsura la obiectele *A* şi *B* acelaşi unghi orizontal α, pentru că subîntinde acelaşi arc de cerc *AB*.

În cazul în care triunghiul orizontal observat este mai mare de 90°, construcţia grafică pentru trasarea arcului de cerc capabil se execută astfel (fig. 10-4):

– se unesc punctele reprezentând obiectele observate *C* şi *D*;

– se trasează din *C* şi *D* spre coastă (în sens opus poziţiei navei), dreptele care formează cu segmentul *CD* un unghi egal cu $\beta - 90°$. La intersecţia *O* a celor două drepte se află centrul arcului de cerc capabil de unghiul orizontal β. Centrul *O* mai poate fi obţinut şi ca intersecţie între mediatoarea *xy* a segmentului *CD*, cu una din dreptele trasate din *C* sau *D* formând un unghi $\beta - 90°$ faţă de *CD*;

– cu o rază egală cu *OC* = *OD* şi cu centrul în *O*, se trasează arcul de cerc capabil de unghiul β. În orice punct al arcului de cerc $CZ_1 Z_2$, ... , *D* s-ar afla nava,

observatorul ar vedea obiectele C şi D sub acelaşi unghi β, deoarece subîntinde acelaşi arc de cerc CD.

Când unghiul orizontal măsurat este de 90°, linia de poziţie este de forma unui cerc, al cărui centru este situat la mijlocul segmentului care uneşte punctele ce reprezintă obiectele observate şi cu o rază egală cu jumătatea acestui segment.

3 Cercul de egală distanţă

O altă linie de poziţie costieră este cea obţinută din distanţa măsurată la un reper de navigaţie. Pe sfera terestră, locul geometric determinat de această observaţie este un cerc mic, care are centrul (polul) în obiectul observatorului şi raza sferică egală cu distanţa măsurată.

Considerăm că se măsoară distanţa d la un obiect A. Pe sfera terestră, locul de egală distanţă este cercul cu centru în A având raza sferică d. Pe harta Mercator (fig. 10-5), reprezentarea riguroasă a acestui cerc este o curbă închisă (linia punctată din fig. 10-5), simetrică în raport cu meridianul punctului A_1 (proiecţia pe hartă a obiectului A), a cărei deformaţie este orientată de-a lungul meridianului; deformaţia se amplifică spre polul emisferei observatorului şi creşte cu latitudinea, precum şi cu distanţa măsurată.

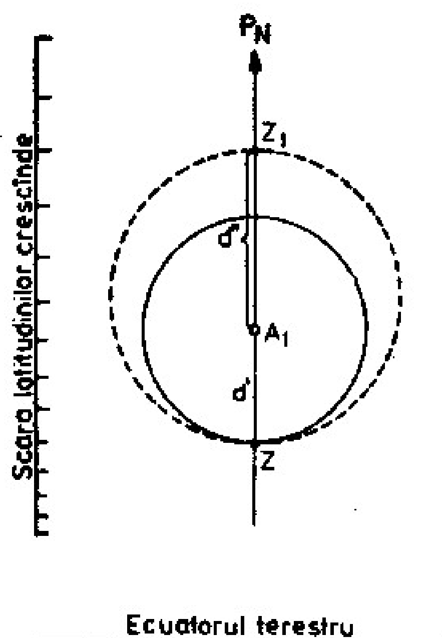


Fig. 10-5

Deformaţia curbei în sens N-S este explicată cu latitudinea; astfel, segmentul $A_1Z = d'$, reprezentând proiecţia Mercator a distanţei d pe meridianul punctului A în direcţia ecuatorului, este mai mic decât $A_1Z_1 = d''$, care reprezintă proiecţia aceleiaşi distanţe d pe acelaşi meridian, în direcţia polului, la o latitudine superioară.

La latitudinea de 40°, de exemplu, pentru o distanţă d = 30 Mm, diferenţa $d'' - d'$ = 0,22 Mm; pentru aceeaşi distanţă d la latitudinea de 60°, diferenţa $d'' - d'$ = 0,45 Mm. Diferenţa $d'' - d'$ reprezintă deci eroarea maximă care s-ar produce, dacă s-ar substitui curba în proiecţie Mercator a locului geometric obţinut

prin măsurarea distanței la un obiect, cu un cerc având centrul în A_1 și raza egală cu distanța d (linia continuă din fig. 10-5).

În navigația costieră, distanțele observate la reperele de navigație sunt de regulă considerabil mai mici de 30 Mm, iar latitudinile obișnuite la care se navigă, inferioare celei de 60°; erorile maxime posibile deci, care pot interveni în aceste condiții prin substituirea celor două curbe, sunt inferioare celor indicate mai sus.

Ca urmare, în practica navigației costiere, pe harta Mercator, linia de poziție determinată de distanța observată la un obiect se consideră de forma unui cerc având centrul în obiectul observat și raza egală cu distanța măsurată, în mile marine. La latitudini superioare și distanțe mari observate, în executarea lucrului pe hartă, distanța pe scara latitudinilor crescânde să se măsoare la nord sau la sud (funcție de emisfera observatorului) de paralelul obiectului observat.

Linia de poziție determinată de distanța observată la un obiect este denumită *cerc de egală distanță.*

4 Aliniamentul

Se spune că un observator (Z) se află în *aliniamentul* a două obiecte *A* și *B* (fig. 10-6), atunci când acestea se văd în același plan vertical. Intersecția acestui vertical cu suprafața sferei terestre determină un arc de cerc mare. Avându-se în vedere însă distanța *ZB* relativ redusă, se consideră că loxodroma *ZAB* se confundă cu loxodroma acestor puncte; pe harta Mercator, aliniamentul se trasează ca o dreptă obținută prin unirea punctelor *A* și *B*, prelungită spre observator (fig. 10-6).

Linia de poziție determinată este cu atât mai precisă cu cât aliniamentul este mai *sensibil.* Se spune că aliniamentul este *sensibil* atunci când distanța *ZA* de la observator la obiectul cel mai apropiat este mică, iar distanța *AB* dintre obiecte este mare; invers, în cazul în care distanța *ZA* este mare și distanța *AB* este mică, aliniamentul se consideră *puțin sensibil.* La sensibilitatea aliniamentului contribuie forma și înălțimea obiectelor; obiecte înalte și subțiri constituie cazul favorabil. În practica navigației se admite că aliniamentul este suficient de sensibil dacă: $\overline{ZA} < 3 \cdot \overline{AB}$

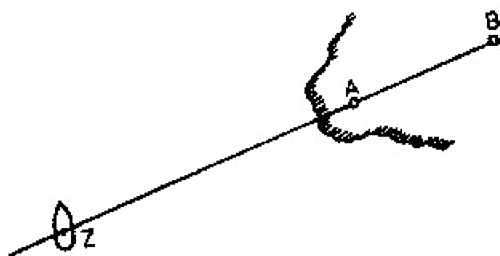


Fig. 10-6

Aliniamentele prezintă o importanță deosebită în navigație pentru balizarea paselor și în general a zonelor periculoase de navigație, fiind folosite ca *aliniamente de ghidaj* sau ca *aliniamente de siguranță* (vezi cap. 14, §4), la determinarea corecției compasului magnetic sau giroscopic (vezi cap. 15, §4) etc.

Momentul „tăierii unui aliniament" se stabilește prin observație cu ochiul liber sau cu ajutorul binoclului.

5 Linia de egală adâncime a apei

În conținutul hărților marine, de foarte mare importanță se consideră indicarea adâncimii apei; liniile de egală adâncime a apei se numesc *linii batimetrice* sau *izobate*. Funcție de scara hărții, liniile batimetrice principale (5, 10, 15 etc., ... , brațe sau metri) sunt marcate pe hartă; se observă că în general liniile batimetrice au o orientare aproximativ paralelă cu coasta.

Rezultă deci că în navigația costieră, prin măsurarea adâncimii apei se poate stabili pe hartă o linie de poziție în zona de navigație, reprezentată prin linia batimetrică ce unește punctele de egală adâncime sondată.

Determinarea liniei de egală adâncime a apei pe hartă este cu atât mai precisă cu cât variația pe direcția normalei la orientarea liniilor batimetrice este mai evidentă. Variația lentă a adâncimilor face ca această linie de poziție să fie puțin concludentă.

Liniile de egală adâncime a a apei sunt folosite în practica navigației costiere în condiții de vizibilitatae redusă și în general, în condițiile unei navigații nesigure. În asemenea situații, chiar atunci când se dispune și de alte mijloace de navigație, utilizarea sondei trebuie privită ca necesară, folosind serii de sondaje (cu stabilirea fiecărui sondaj și a distanței parcurse între ele).

În apele fără maree, sondajul măsurat cu sonda ultrason față de chilă trebuie corectat în funcție de pescajul navei. În apele cu maree, pentru stabilirea liniei de egală adâncime pe care se află nava, sondajul măsurat trebuie corectat și în funcție de *înălțimea mareei* față de *nivelul zero al hărții*; operațiunea poartă denumirea de *reducerea sondajelor la nivelul de referință al hărții* sau *la nivelul zero al hărții*, care se studiază la capitolul 33.

§4 Precizia liniilor de poziție costiere

1 Considerații asupra erorilor de observație costiere

Observațiile de navigație, de orice natură ar fi ele (costiere, astronomice sau observații electronice), sunt afectate de erori. Erorile care afectează observațiile (măsurătorile) de navigație în general sunt extrem de variate; în principal, ele pot fi generate de:

– erori proprii observatorului (datorită imperfecțiunii ochiului, oboseală, lipsă de antrenament etc.);

– condițiile de observație (starea mării, vizibilitate, balansul navei etc.);

– erori ale instrumentului de observație (eroarea indicelui sextantului, linia 0°– 180° a cercului azimutal nu este paralelă cu planul diametral al navei etc.;

– erori ale procedeului de observație folosit.

Suma acestor erori face ca observarea (măsurarea) repetată a aceleiași mărimi, executată în aceleași condiții de observații (de același observator cu același instrument și în aceleași condiții exterioare) să ducă la rezultate diferite ale observației.

După caracterul lor, erorile de observație pot fi împărțite în două mari categorii: *erori sistematice și erori accidentale.*

Erorile sistematice sunt constante în seria de observații, dacă condițiile măsurării (observației) se mențin aceleași. Ele se datoresc unor cauze permanente, care se transmit fiecărei observații în mod constant; aceste cauze pot fi stabilite și mărimea erorii poate fi determinată, iar efectul ei asupra rezultatului final al observației poate fi eliminat sub forma unei corecții.

Astfel, de exemplu, relevmentele prova măsurate la un cerc azimutal a cărei linie 0°-180° nu este paralelă cu planul diametral al navei sunt afectate de o eroare sistematică, egală cu eroarea de neparalelism.

Dacă deviația magnetică într-un anumit drum compas este eronat determinată, toate relevmentele adevărate obținute prin convertire din relevmentele compas în acest drum sunt afectate de o eroare constantă, egală cu eroarea în deviația magetică.

Erorile accidentale sunt acele erori care apar din cauze neprevăzute, neregulate și variabile, atât ca valoare, cât și ca semn și ale căror legi de acțiune nu se pot stabili.

În observarea relevmentelor, de exemplu, erorile accidentale sunt datorate îndeosebi instabilității rozei compasului, balansului navei și condițiilor de vizibilitate.

În observarea unghiurilor cu sextantul, erorile accidentale sunt de regulă consecința condițiilor de observație și dependente de antrenamentul observatorului.

În condiții normale de observație, pentru un observator cu un antrenament mediu, se admite că erorile accidentale sunt mai mici decât cele sistematice. Totuși, trebuie reținut că în practica navigației, observațiile pot fi afectate uneori de erori accidentale mari, denumite *erori grosiere*, care în cele mai frecvente cazuri sunt consecința neatenției. Aceste erori pot fi identificate cu ocazia prelucrării observațiilor, a trasării rezultatelor lor pe harta de navigație și astfel se procedează la eliminarea observației (observațiilor) afectate de asemenea erori grosiere.

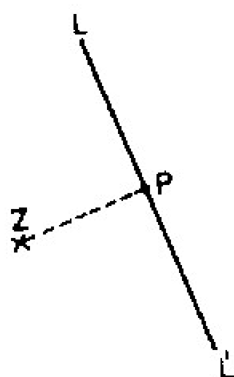


Fig. 10-7 a

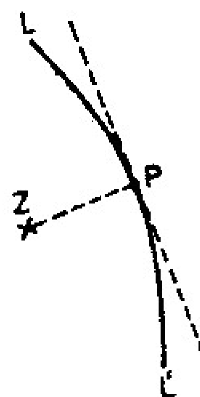


Fig. 10-7 b

Linia de poziție determinată pe baza unei observații afectate de o anumită eroare va fi deplasată mai mult sau mai puțin față de poziția adevărată a navei, funcție de mărimea erorii. Eroarea unei linii de poziție trasată pe hartă se exprimă prin distanța minimă la care aceasta trece față de punctul adevărat al navei, adică lungimea piciorului perpendicularei coborâte din acest punct pe linia de poziție respectivă. Astfel, dacă *LL'* este linia de poziție eronată, rectilinie (fig. 10-7 *a*) sau în arc de cerc (fig 10-7 *b*) și *Z* punctul adevărat al navei, eroarea liniei de poziție este exprimată de lungimea piciorului perpendicularei *ZP*.

În cele ce urmează se analizează erorile principale ale observațiilor costiere, efectul lor asupra preciziei liniilor de poziție și măsurilor necesare de luat pentru reducerea lor.

Erorile proprii observatorului sau cele care derivă din condițiile de observație nu pot fi reduse decât prin antrenament. Executarea metodică a acestui antrenament trebuie să vizeze îndeosebi obținerea de deprinderi corecte și sigure în executarea observațiilor, în condiții dificile de observație și navigație: pe mare montată, în condiții de vizibilitate redusă, pe timpul nopții etc.

2 Erori ale dreptei de relevment

Erorile datorate defecțiunilor de construcție a compasurilor, alidadelor și a cercurilor azimutale, în condițiile tehnicii de azi, sunt în general de valori foarte reduse. O atenție deosebită trebuie dată însă condițiilor de instalare, de orientare a liniei de credință a compasurilor, a liniei 0°–180° a cercurilor azimutale etc.

La relevarea unui reper de navigație, citirea relevmentului compas se face în momentul în care *roza este stabilă*, iar nava se află în poziție dreaptă sau aproape de aceasta; de asemenea, citirea relevmentului trebuie făcută când nava este *stabilă la drum*, evitându-se perioada unor mișcări violente de ruliu și tangaj. Un observator experimentat în condiții de mare montată menține alidada orientată pe direcția obiectului de relevat și așteaptă momentul favorabil al citirii relevmentului; *nava cât mai aproape de poziția sa dreaptă (puntea orizontală), roza compasului stabilă și nava stabilă la drum.*

A *Eroarea în corecția compasului*

O eroare în corecția compasului magnetic Δc, reprezentând suma algebrică a erorilor declinației și deviației magentice în drumul navei precum și în corecția compasului giroscopic Δg, determină o orientare eronată a dreptei de relevment, egală cu mărimea erorii.

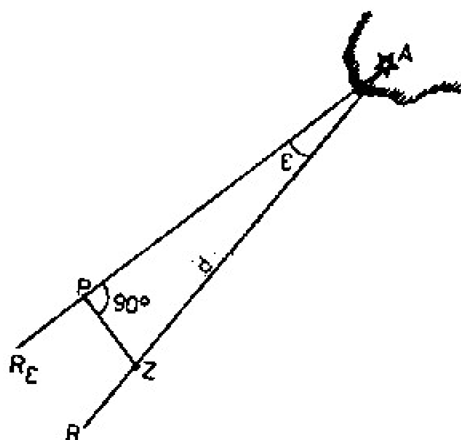


Fig. 10-8

Pentru a vedea cum influențează o eroare în Δc sau Δg asupra preciziei dreptei de relevment, considerăm că R este relevmentul adevărat la obiectul A, iar relevmentul R_ε este afectat de eroarea ε (fig. 10-8); punctul adevărat al navei este Z, aflat la distanța d de obiectul A.

Eroarea dreptei de relevment R_ε este egală cu segmentul ZP, obţinut prin coborârea perpendicularei din Z pe R_ε, care se determină din triunghiul ZAP:

$$\overline{ZP} = d \sin \varepsilon \tag{10-1}$$

Relaţia (10-1) arată că pentru o anumită eroare în corecţia compasului, eroarea dreptei de relevment creşte cu distanţa la reperul de navigaţie observat. Rezultă deci că pentru a reduce efectul unei erori în corecţia compasului asupra dreptei de relevment, în practica navigaţiei costiere, *se recomandă ca să se acorde prioritate relevării obiectelor apropiate de navă.*

B *Independenţa arcului de cerc capabil obţinut din diferenţa relevmentelor compas la două obiecte de eroarea sistematică a relevmentelor*

Considerăm că s-au relevat obiectele A şi B, obţinându-se relevmentele R_A şi R_B (fig. 10-9).

Diferenţa $R_A - R_B = \alpha$ exprimă unghiul orizontal în care observatorul vede obiectele A şi B, obţinut din diferenţa valorilor unghiulare a celor două relevmente. În cazul în care R_A şi R_B reprezintă relevmentele adevărate la A şi B, Z este punctul adevărat al navei aflat pe arcul de cerc capabil de unghiul orizontal α.

Dacă relevmentele la obiectele A şi B ar fi afectate de eroarea sistematică ε_1, punctul navei s-ar obţine în Z_1, eronat cu cantitatea ZZ_1; punctul Z_1 se menţine însă pe acelaşi arc de cerc capabil. deoarece eroarea fiind constantă, unghiul orizontal obţinut din diferenţa celor două relevmente rezultă acelaşi (α).

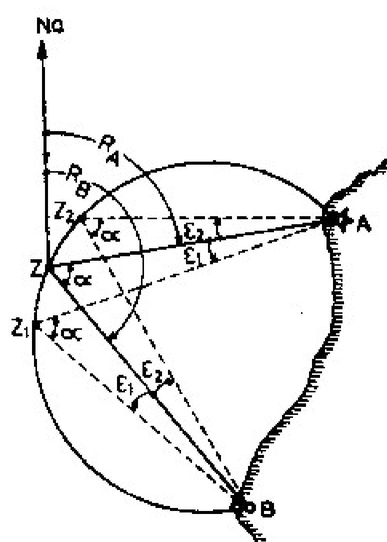


Fig. 10-9

În cazul în care relevmentele la A şi B ar fi afectate de eroarea sistematică ε_2, punctul navei s-ar obţine în Z_2, plasat pe acelaşi arc de cerc capabil.

Rezultă că *arcul de cerc capabil determinat de unghiul orizontal obţinut din diferenţa relevmentelor la două obiecte, afectate de o eroare sistematică, este liber de influenţa acestei erori.*

Această concluzie prezintă o importanţă practică în navigaţia costieră: *în situaţia în care corecţia compasului nu este cunoscută cu precizie şi condiţiile de navigaţie nu permit determinarea ei, se va folosi procedeul determinării punctului navei cu unghiuri orizontale, obţinute din diferenţa relevmentelor compas observate.*

C *Eroarea de înclinare a alidadei*

În momentul relevării unui obiect, cercul azimutal trebuie să fie orientat în planul verticalului care trece prin centrul de rotire al alidadei (rozei) şi prin obiect.

Dacă planul de vizare al alidadei are o înclinare i faţă de acest vertical se produce o eroare e în dreapta de relevment, care este funcţie de înclinarea i şi de înălţimea h a obiectului observat faţă de orizontul adevărat.

Pentru a ilustra relaţia dintre eroarea e, înclinarea alidadei i şi înălţimea h a obiectului observat, considerăm (fig. 10-10):

– O, centrul de rotire al alidadei (rozei) şi OV, verticala punctului O;

– cu centrul în O şi cu o rază de mărime oarecare se descrie o sferă, pe care se reprezintă, sferic, planul orizontului adevărat HH_1 al rozei (sau cercului azimutal), precum şi planurile verticale ce trec prin O. Astfel, semicercul mare A_1VM reprezintă pe această sferă verticalul ce conţine două raze vizuale: OA – la obiectul A aflat în orizont ($h = 0°$), care înţeapă sfera în A_1; OB – la obiectul B, de înălţime h (= $\sphericalangle BOA_1$), ce înţeapă sfera în B_1.

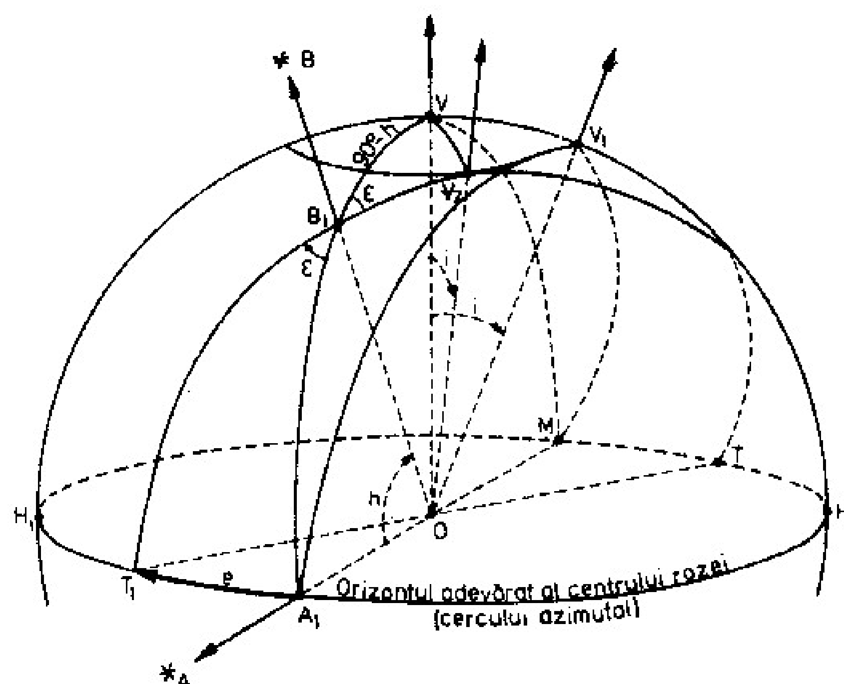


Fig. 10-10

În mod normal, pentru relevarea obiectelor A şi B, alidada trebuie orientată cu planul de vizare în verticalul A_1VM.

Presupunem însă că voind să relevăm obiectul A, alidada este înclinată în planul de vizare reprezentat sferic de semicercul mare $A_1V_1M_1$, a cărui înclinare este egală cu unghiul $i = VOV_1$, format între verticala OV şi raza OV_1.

Direcţia de vizare OA_1 la obiectul A aflat în orizontul adevărat (h = 0°) consituie drepta de intersecţie dintre verticalul A_1VM al obiectului A şi planul de vizare înclinat al alidadei A_1V_1M; în acest caz, relevmentul compas la obiectul A se citeşte pe roză în dreptul punctului A_1 (respectiv pe cercul azimutal, în cazul citirii relevmentului prova), în mărimea lui reală, fără a fi afectat de erori, ca urmare a înclinării alidadei.

Se poate conclude deci, că citirile relevmentului nu sunt afectate de erori cauzate de înclinarea alidadei, dacă obiectele relevate se află în orizontul adevărat.

Considerăm acum că se relevează obiectul B, de înălţime h, având alidada înclinată de acelaşi unghi i. Pentru menţinerea înclinării i, alidada trebuie orientată în planul de vizare T_1V_2T, care se obţine prin rotirea razei OV_1, în jurul verticalei OV, astfel ca unghiul i să se păstreze constant; în acest mod, raza OV_1 descrie un con cu vârful în O, având baza de-a lungul cercului mic V_1V_2, cu centrul în V şi raza sferică $VV_1 = VV_2$, corespunzătoare unghiului cu vârful la centru i.

În această poziţie a alidadei, având planul de vizare T_1V_2T, de înclinare i, citirea relevmentului compas pe roză (respectiv a relevmentului prova pe cercul azimutal) se face în dreptul punctului T_1, cu o eroare reprezentată de arcul $A_1T_1 = e$.

Relaţia dintre eroarea relevmentului e, înclinarea alidadei i şi înălţimea h a obiectului relevat se poate stabili prin rezolvarea triunghiurilor sferice $A_1B_1T_1$ şi VV_2B_1.

Din triunghiul sferic $A_1B_1T_1$, dreptunghic în A_1, considerând unghiul sferic $A_1B_1T_1 = \varepsilon$, se obţine:

$$\sin h = \text{ctg}\,\varepsilon . \text{tg}\, e$$

de unde:

$$\text{tg}\, e = \frac{\sin h}{\text{ctg}\,\varepsilon} \tag{10-2}$$

Din triunghiul sferic VV_2B_1, dreptunghic în V_2, ştiind că $VB_1 = 90° - \text{h}$ şi $VV_2 = i$, se deduce:

$$\sin i = \sin \varepsilon . \cos h$$

sau:

$$\sin \varepsilon = \frac{\sin i}{\cos h}$$

Dar:

$$\text{ctg}\,\varepsilon = \frac{\sqrt{1-\sin^2 \varepsilon}}{\sin \varepsilon}$$

sau

$$\text{ctg}\,\varepsilon = \frac{\sqrt{1-\dfrac{\sin^2 i}{\cos^2 h}}}{\dfrac{\sin i}{\cos h}} = \frac{\sqrt{\cos^2 h - \sin^2 i}}{\sin i} \tag{10-3}$$

Introducând expresia (10-3) în (10-2) se obține:

$$\operatorname{tg} e = \frac{\sin h \sin i}{\sqrt{\cos^2 h - \sin^2 i}} \qquad (10\text{-}4)$$

Formula (10-3) arată că:

– eroarea de relevment e este zero, dacă obiectul observat se află în orizontul adevărat ($h = 0°$) sau dacă alidada este menținută în planul vertical al obiectului ($i = 0°$);

– la o anumită înclinare a alidadei i, eroarea în relevment crește cu înălțimea h a obiectului relevat.

La înălțimea obiectului $h = 90° - i$, eroarea în relevment este maximă ($e = 90°$).

Din cele analizate mai sus, pentru practica navigației, se trag următoarele concluzii:

– *la relevarea unui obiect, observatorul trebuie să-și formeze deprinderi pentru menținerea orientării alidadei cu planul de vizare în verticalul obiectului. Eroarea unui relevment cauzată de înclinarea alidadei crește cu înălțimea obiectului relevat deasupra orizontului;*

– *a se acorda prioritate relevării obiectelor aflate cât mai aproape de orizont.* Acest fapt trebuie avut în vedere îndeosebi pe mare montată, cu ruliu și tangaj pronunțat, când producerea erorii de înclinare a alidadei este cea mai probabilă.

3 Erori ale arcului de cerc capabil de un unghi orizontal observat

Unghiurile orizontale măsurate cu sextantul sunt caracterizate în mod normal printr-o înaltă precizie. Din punct de vedere al preciziei, desigur, unghiul orizontal la două obiecte observate cu sextantul este mai precis decât cel determinat din diferența

Fig. 10-11

Fig. 10-12

relevmentelor măsurate la aceleași obiecte. În practica navigației costiere, unghiurile orizontale se determină din diferența relevmentelor în următorele situații:

– în condițiile dificile de observație, pe timpul nopții, la distanțe mari – când reperele de navigație sunt slab conturate, când nava are balans puternic etc.;

– când cele două obiecte observate se află în plane orizontale mult diferite ca altitudine.

Dacă α reprezintă valoarea reală a unghiului orizontal la obiectele *A* și *B*, arcul de cerc capabil *AZB* reprezintă linia de poziție adevărată pe care se află nava (fig. 10-11). Dacă la aceleași obiecte se observă un unghi orizontal eronat $\alpha_1 > \alpha$, arcul de cerc capabil de unghiul α_1 este interior celui adevărat; invers, dacă unghiul orizontal eronat $\alpha_2 < \alpha$, arcul de cerc capabil de unghiul α_2 este exterior celui adevărat.

Considerând *Z* punctul adevărat al navei (fig. 10-12), aflat pe arcul de cerc *AZB* capabil de unghiul α, eroarea arcului de cerc capabil de un unghi eronat $\alpha_1 > \alpha$ este reprezentată de segmnetul $e = ZZ_1$ (perpendiculara din *Z* pe arcul de cerc AZ_1B).

Eroarea *e* poate fi determinată prin una din următoarele relații:

$$e = \frac{l}{\sin\alpha}\sin\varepsilon \qquad (10\text{-}5)$$

unde: α = unghiul orizontal la obiectele *A* și *B*; ε = eroarea unghiului orizontal; l = distanța din *Z* la direcția *AB*; sau:

$$e = \frac{d_1 \cdot d_2}{d}\sin\varepsilon \qquad (10\text{-}6)$$

unde: d_1 = distanța *ZA*; d_2 = distanța *ZB*; d = distanța *AB*.

4 Eroarea cercului de egală distanță

Precizia distanței observate la un obiect este în mare măsură dependentă de procedeul folosit pentru determinarea acesteia; prezentarea acestor procedee se face în capitolul 13.

Indiferent de metoda aplicată, eroarea distanței observate la un obiect crește cu aceasta; ca urmare, se recomandă să se observe distanțele la obiecte mai apropiate de navă.

Eroarea în distanță determinată la un reper de navigație se transmite în mărime totală asupra liniei de poziție, deoarece cercul de poziție se trasează cu o rază egală cu distanța eronată observată; cercul de poziție eronat este concentric cu cel adevărat, având o rază mai mare sau mai mică cu o cantitate egală cu eroarea ce afectează distanța observată.

5 Sensibilitatea aliniamentului

Aliniamentele utilizate în navigație sunt trecute cu precizie pe hartă; un deosebit interes prezintă aliniamentele de ghidare, folosite pentru balizarea paselor, a intrărilor în porturi și în general a zonelor periculoase. Asemenea aliniamente sunt marcate prin două obiecte (*A* și *B*), subțiri și înalte, prevăzute cu lumini fixe de culori diferite, pentru semnalizare pe timpul nopții, la înălțimi diferite, astfel ca lumina obiectului mai depărtat (*B*) de observatorul de pe mare să se vadă deasupra luminii obiectului mai apropiat *A* (fig. 10-13).

Navigatorul se află „în axa aliniamentului" când cele două obiecte se suprapun sau luminile se văd în acelaşi plan vertical; dacă se depărtează de această axă, el observă că lumina obiectului mai depărtat „se deschide" în sensul abaterii.

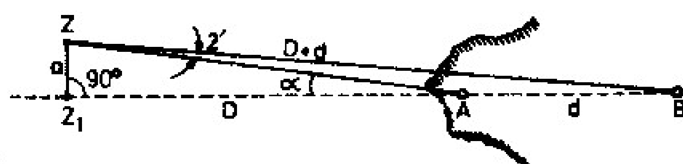


Fig. 10-13

Experimental, s-a stabilit că un observator poate observa că un aliniament începe să se „ deschidă" în momentul în care segmentul $AB = d$ se vede sub un unghi de aproximativ 2′.

Sensibilitatea aliniamentului la distanţa D de obiectul cel mai apropiat, exprimată prin abaterea a faţă de axa aliniamentului, în momentul când segmentul $AB = d$ se vede sub un unghi de 2′, se poate determina astfel:

– în triunghiul AZB:

$$\frac{ZB}{\sin(180^\circ - \alpha)} = \frac{d}{\sin 2'}$$

– deoarece α este mic, se poate scrie:

$$ZB = D + d \text{ şi } \sin\alpha \simeq \operatorname{tg}\alpha \simeq \frac{a}{D}$$

– de unde:

$$a = \frac{D(D+d)}{d}\sin 2' \qquad (10\text{-}7)$$

Formula (10-7) poate servi practic la:

– determinarea distanţei minime la care trebuie amplasate obiectele unui aliniament AB menit sǎ balizeze axa unui canal navigabil, având semiînălţimea acestuia a şi distanţa D de la capătul pasei la obiectul cel mai apropiat al aliniamentului;

– a determina dacă sensibilitatea aliniamentului de distanţă d între obiecte este suficientă pentru a evita un obstacol plasat la distanţa D faţă de A.

§5 Transportul liniilor de poziţie

O linie de poziţie obţinută dintr-o observaţie executată într-un moment t reprezintă locul geometric al punctelor pe care nava se afla în momentul observaţiei. Pentru a determina linia de poziţie, obţinută din observaţia respectivă, pe care nava se află într-un moment ulterior t_1, aceasta se translează în funcţie de drumul şi distanţa parcursă de navă în intervalul de timp $t_1 - t$; linia de poziţie astfel determinată pentru momentul t_1 se numeşte *linie de poziţie transportată*.

Procedeul transportării liniilor de poziţiei stă la bază determinării poziţiei navei cu observaţii succesive.

1 Transportul dreptei de relevment sau al unui aliniament

Considerăm că în momentul t se relevează obiectul A, obținându-se dreapta de relevment AR; nava merge în drumul D cu viteza V. Se pune problema de a transporta dreapta de relevment AR pentru un moment ulterior t_1 (fig. 10-14).

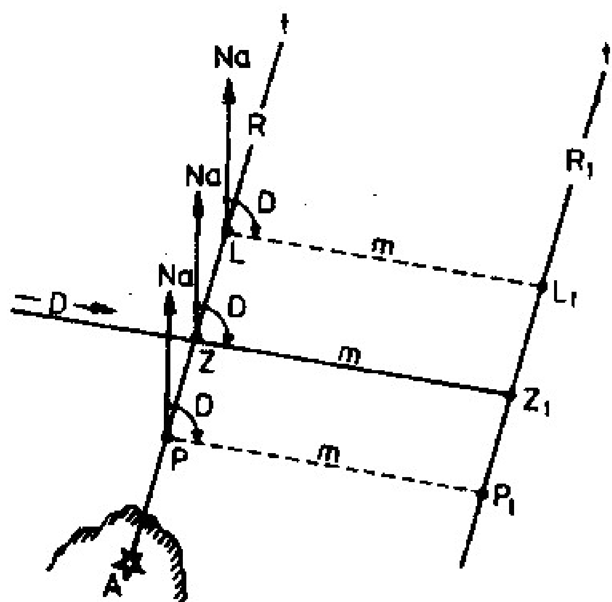


Fig. 10-14

În momentul executării observației t, nava se află într-un punct oarecare L, Z, P, ... al dreptei de relevment AR. Pentru a afla poziția dreptei de relevment în momentul t_1, se poate considera că infinitatea de puncte L, Z, P, ... se deplasează cu nava în drumul D, la distanța $V(t_1 - t)$; în momentul t_1 nava se va afla deci în unul din punctele L_1, Z_1, P_1, ... care determină dreapta de relevment transportată.

În practica navigației, transportul unui relevment se face astfel:

– se relevează obiectul A și simultan se citește ora bordului (t) și lochul (cl). Relevmentul compas se convertește în relevment adevărat care se trasează pe hartă. Presupunem că acest relevment intersectează drumul navei (trasat pe hartă) în Z;

– se citește lochul (cl_1) în momentul t_1;

– se determină distanța parcursă de navă $m = V(t_1 - t)$ sau din diferența citirilor la loch $m = cl_1 - cl$;

– cu o deshizătură de compas egală cu m, având un picior al compasului în Z, se intersectează drumul navei în Z_1. Se duce paralela la AR prin Z_1 și se obține astfel dreapta de relevment transportată* pentru momentul t_1.

În mod similar se procedează pentru transportul unui aliniament; în acest caz, momentul t se consideră cel al „tăierii aliniamentului“

---

* Acest mod de rezolvare are la bază accepțiunea că spațiul m parcurs de navă în intervalul de timp (t_1-t) este relativ redus, astfel că scara Mercator a latitudinilor se poate considera practic uniformă. O soluție absolut riguroasă ar arăta că dreapta P_1-Z_1-L_1 pe harta Mercator ar fi ușor divergentă (spre polul geografic).

2 Transportul unui arc de cerc capabil de un unghi orizontal sau al unui cerc de egală distanță

Rezolvarea grafică a transportării unui arc de cerc capabil de unghiul orizontal α observat la două obiecte *A* și *B* este ilustrată în figura 10-15.

Arcul de cerc capabil pentru momentul *t* este *AZB*. Pentru a-l transporta pentru momentul t_1, se deplasează centrul *O* în O_1, în drumul navei *D* la distanța $m = V(t_1 - t) = cl_1 - cl$. Arcul de poziție transportat pentru momentul t_1 se trasează cu centrul în O_1, de o rază $OA = OB$.

Transportul unui cerc de egală distanță *d*, observată la un obiect *A* în momentul *t* (fig. 10-16), se efectuează în mod similar. Centrul cercului de poziție *A*,

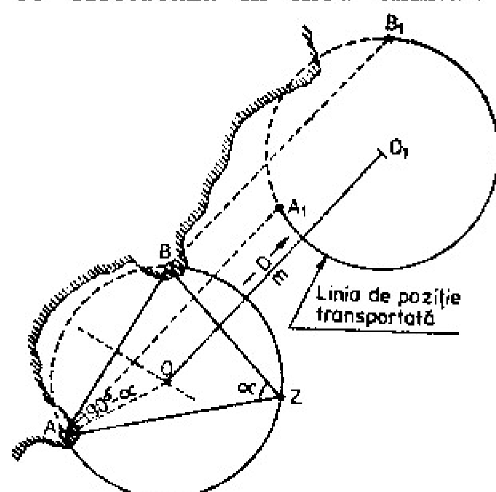


Fig. 10-15

reprezentând obiectul observat, se transportă în A_1, în drumul navei *D* la distanța $m = V(t_1 - t) = cl_1 - cl$. Cercul de poziție transportat pentru momentul t_1 se trasează cu centrul în A_1, de rază *d*.

3 Transportul unei linii batimetrice (izobate)

Presupunem că în momentul *t* se măsoară adâncimea apei și se găsește un sondaj, care corespunde liniei batimetrice *xy* (fig. 10-17). În vederea transportării acestei linii

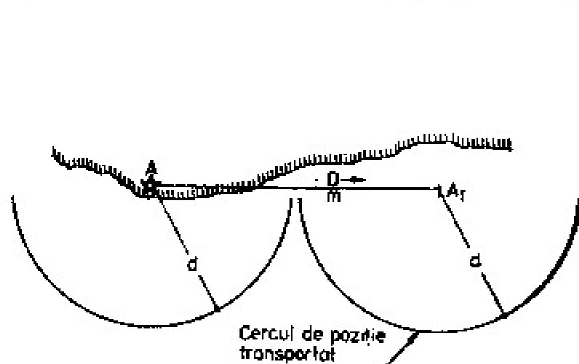


Fig. 10-16

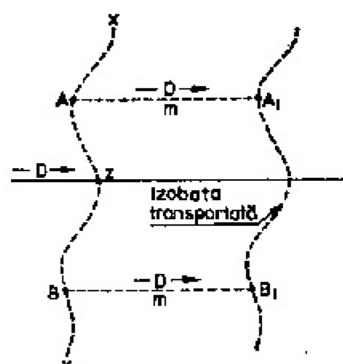


Fig. 10-17

de poziție pentru un moment t_1, se alege o porțiune *AB* a izobatei, în interiorul căreia se consideră a se afla poziția navei, funcție de condițiile de navigație; în situația prezentată, drumul urmat de navă, trasat pe hartă, intersectează izobata în *Z*.

Se transportă punctele A și B, care delimitează linia de poziție cea mai probabilă a navei, în drumul D la distanța $m = V(t_1 - t) = cl_1 - cl$, obținându-se astfel punctele A_1 și B_1, între care se trasează pe hartă linia batimetrică respectivă (cu ajutorul unei hârtii transparente).

4 Precizia liniei de poziție

Linia de poziție transportată însumează erorile liniei de poziție inițiale, determinată pentru momentul t (prezentate mai sus la §4), precum și erorile în ținerea estimei în intervalul $t_1 - t$ (analizate la cap. 8, §6). Ridicarea gradului de precizie a unei linii de poziție transportate se poate realiza deci urmând indicațiile date cu privire la reducerea erorilor în determinarea liniilor de poziție, cât și în ținerea estimei.

Ținerea atentă a estimei în intervalul de timp pentru care se face transportul liniilor de poziție constituie un fapt de mare importanță în practica navigației costiere, în scopul obținerii unei poziții cât mai precise cu observații succesive.

§6 Repere costiere de navigație

1 Generalități

Semnalizarea maritimă costieră cuprinde complexul de mijloace destinate siguranței navigației maritime, în diferite condiții de navigație, în apropierea coastei: mijloacele pentru balizarea paselor, intrărilor în porturi, canalelor și râurilor deschise traficului maritim, avertizarea navigatorilor de existența unor pericole de navigație, precum și reperele de navigație costiere, folosite pentru determinarea poziției navei prin observații de la larg.

Reperele costiere de navigație folosite în scopul enunțat sunt: farurile, navele far, geamandurile și orice obiect vizibil de la larg, de poziție cunoscută și de dimensiuni astfel ca pe hartă să apară punctiform (sau pe o suprafață foarte restrânsă).

Între acestea, desigur farurile constituie reperele principale. Geamandurile, folosite ca mijloace pentru marcarea sau delimitarea zonelor periculoase, precum și a indicării axei unei pase etc., în executarea observațiilor costiere, prezintă neajunsul că pot fi derivate din poziția lor adevărată trecută în hartă; de aceea, observarea lor trebuie făcută cu precauție și limitată la situațiile când nu se găsesc în vedere alte repere la coastă.

Obiectele vizibile de la coastă a căror poziție este trecută în hartă prezintă o mare utilitate în practica navigației costiere. Desigur, conținutul hărții este cu atât mai bogat în asemenea detalii de navigație, cu cât este la o scară mai mare și întocmită la o dată mai recentă. Asemenea repere sunt: turnuri, turle de biserici, coșuri de fabrici, diferite construcții izolate sau care se detașează ușor prin formele lor, de cele din jur, vârfuri evidente de movile sau ale altor forme topografice, stânci, mici insule (cum este cazul în Marea Egee, Adriatică, de-a lungul coastelor Scandinaviei etc.), capuri înalte și detașate etc. În lipsa unor faruri în vedere,

asemenea repere pot fi de mare utilitate în navigația costieră pe timpul zilei; alegerea lor favorabilă, funcție de situația de navigație, se obține cu experiența pe mare.

O problemă de o importanță deosebită în observarea reperelor costiere de navigație este identificarea precisă a acestora. Confundarea lor poate avea consecințe deosebit de grave; în istoria navigației s-au evidențiat suficiente cazuri de sinistre maritime, cauzate de o asemenea eroare. De aceea, cei de pe comanda navelor maritime trebuie să respecte cu strictețe regula: *întâi se identifică cu atenție și precizie reperul de navigație și după aceea se execută observația pentru determinarea poziției navei!*

2 Faruri maritime (Lights)

Farurile sunt construcții speciale la coastă, vizibile la mare distanță, de forme și culori astfel ca să poată fi recunoscute ușor pe timpul zilei și prevăzute cu mijloace de semnalizare luminoasă, pentru observarea și identificarea lor pe timpul nopții.

Intensitatea luminoasă a farurilor este exprimată în documentația nautică în *candele zecimale*, *candele engleze* sau în *carceli*; 1 candelă zecimală = 0,99 candele = 0,104 carceli.

A *Caracteristicile farurilor*

În scopul asigurării identificării farurilor pe timpul nopții și a preîntâmpinării pericolului confundării lor, fiecare far emite un semnal luminos caracteristic. Lumina farurilor poate fi: albă, roșie sau verde.

Perioada caracteristicii unui far este intervalul de timp exprimat în secunde în care se transmite semnalul luminos, după care se repetă în serie.

Caracteristica unui far este constituită din culoarea luminii, felul semnalului sau al eclipsei (intervalul de întuneric dintre semnalele luminoase) și perioada lui.

În tabelul 10-1 se redau caracteristicile farurilor maritime în limbile română și engleză, cu prescurtările folosite în hărți.

B *Terminologia folosită în documentația nautică în legătură cu farurile maritime*

Caracteristicile farurilor, ca și descrierea structurii acestora sunt redate în *Cartea farurilor* (*„Admiralty List of Lights and Fog Signals"*), care conține: numărul internațional al farului (atribuit de Biroul Internațional Hidrografic), numele, poziția, caracteristica și intensitatea, înălțimea, bătaia, descrierea structurii farului, precum și alte detalii la coloana *„Observații"* (*„Remarks"*), ca: sector de vizibilitate, detalii de funcționare etc.

Descrierea structurii farurilor, menită să faciliteze recunoașterea lor, ca și o serie de alte indicații utile privind destinația acestora, în condițiile specifice de navigație din zona unde sunt amplasate, sunt conținute și în *cărțile pilot* („sailing directions").

Pentru a veni în sprijinul studierii acestor importante documente nautice, apreciem necesară explicarea terminologiei folosite.

Înălțimea (elevation) farului este distanța verticală măsurată între centrul lanternei și *nivelul mediu al apei înalte la sizigii („Mean High Water Springs")* sau

Tabelul 10-1

În română		În engleză		Descrierea caracteristicii
Prescurtare	Semnalul luminos	„Pres."	Semnalul luminos	
F	Lumină fixă	*F*	Fixed	Lumină fixă continuă
Str.	Strălucire	*Fl.*	*Flashing*	a – O strălucire, la intervale regulate, durata strălucirii fiind mai mică decât a eclipsei; b – O lumină de intensitate constantă întreruptă de o eclipsă, la intervale regulate, durata luminii fiind mai mică decât a eclipsei.
Str. Gr.	Lumină intermitentă cu grupuri de străluciri	*Gr. Fl.*	*Group flashing*	Grup de străluciri la intervale regulate; acestea pot fi: grupuri de străluciri egale sau inegale, precum și grupuri de una sau două litere ale codului Morse.
Intr.	Lumină întreruptă	*Occ.*	*Occulting*	O lumină continuă întreruptă brusc de o eclipsă, la intervale regulate. Durata eclipsei este mai mică sau egală cu cea a luminii.
Intr. Gr.	Lumină cu grupuri de întreruperi	*Gp. Occ.*	*Group occulting*	Lumină continuă întreruptă de un grup de două sau mai multe eclipse, la intervale regulate.
F. Str.	Lumină fixă cu străluciri	*F. Fl.*	*Fixed and flashing*	Lumină fixă, care la intervale regulate se intensifică în forma unei străluciri.
F. Str. Gr.	Lumină fixă cu grupuri de străluciri	*F. Gp. Fl.*	*Fixed and group flashing*	Lumină fixă cu un grup de două sau mai multe străluciri, la intervale regulate.
Scl.	Sclipiri	*Qk. Fl.*	*Quick flashing*	Sclipiri continue (cu o frecvență mai mare de 60 semnale pe minut).
Intr. Scl.	Lumină întreruptă cu sclipiri	*Int. Qk. Fl.*	*Interrupted quick flashing*	Sclipiri (cu o frecvență mai mare de 60 semnale pe minut), întrerupte de o eclipsă la intervale regulate.

Tabelul 10-1 (continuare)

În română		În engleză		Descrierea caracteristicii
Prescurtare	Semnalul luminos	„Pres."	Semnalul luminos	
F	Lumină fixă	*F*	Fixed	Lumină fiză continuă
Intr. Scl. Gr.	Lumină întreruptă cu grupuri de sclipiri	*Gp. Int. QK. Fl.*	*Group interrupted quick flashing*	Grupuri de sclipiri întrerupte de eclipse la intervale regulate.
Alt.	Lumină alternativă	*Alt.*	*Alternating*	Lumină continuă care își schimbă culoarea (albă, roșie sau verde), în același sector, la intervale regulate.
Alt. Scl.	Lumină alternativă cu sclipiri	*Alt. Fl.*	*Alternating flashing*	Lumină alternativă cu o sclipire la intervale regulate.
Alt. Scl. Gr.	Lumină alternativă cu grupuri de sclipiri	*Alt. Gp. Fl.*	*Alternating group flashing*	Lumină alternativă cu grupuri de sclipiri.

nivelul mediu al celor mai înalte ape înalte („Mean Higher High Water"), după cum este indicat în *tabla mareelor.*

Bătaia luminoasă (luminous range) a unui far este distanța maximă la care se poate vedea lumina acestuia la un moment dat, funcție de intensitatea farului și transparența atmosferică; nu se ține seama deci de înălțimea farului, a ochiului observatorului și de curbura Pământului.

Bătaia nominală (nominal range) este bătaia luminoasă a farului, când vizibilitatea meteorologică este de 10 Mm.

Bătaia geografică (geographical range) a unui far este bătaia teoretică a luminii acestuia, calculată funcție de înălțimea farului h , înălțimea ochiului observatorului i, curbura Pământului și refracția medie terestră. Bătaia geografică a farului (d) este dată de relațiile (13-13) și (13-14).

Bătaia geografică conținută în documentația nautică este calculată pentru înălțimea ochiului de 5 metri, dacă înălțimea ochiului observatorului și a farului sunt exprimate în metri și respectiv de 15 picioare, când acestea sunt indicate în picioare.

Observatorul de la bord trebuie deci să determine bătaia geografică a farurilor funcție de înălțimea ochiului propriu.

Este clar că bătaia geografică a unui far nu are nici o relație cu bătaia luminoasă a acesuia. În cazul farurilor importante, de regulă, bătaia luminoasă este superioară bătăii geografice. Într-un asemenea caz, în condiții de atmosferă clară, prezența farului se poate identifica după *lumina difuză (loom)* care apare la orizont înainte ca

lumina acestuia să se vadă direct. Procedându-se cu atenţie, această lumină difuză poate fi poate fi relevată, în scopul determinării poziţiei navei. La aterizări de la larg, momentul apariţiei luminii farului pe linia orizontului (moment preavizat de observarea luminii difuze) permite obţinerea a două linii de poziţie simultane la acelaşi obiect: *distanţa*, obţinută din relaţia (13-13) sau (13-14) şi relevmentul observat.

Dacă invers, bătaia luminoasă a farului este inferioară bătăii geografice, lumina acestuia apare într-un moment când vârful farului este deasupra orizontului vizibil; lumina este slabă, confuză, la început, apoi devine din ce în ce mai clară, pe măsură ce distanţa de la far se reduce.

Pentru navigatori este important de reţinut faptul că în *documentaţia nautică se indică întotdeauna bătaia cea mai mică* (între cea luminoasă şi cea geografică); astfel, de exemplu, dacă bătaia luminoasă a unui far este de 12 Mm, iar cea geografică de 16 Mm, în cartea farurilor – în coloana *bătaia* farului (range) se indică 12 Mm.

Sectorul de vizibilitate (arc of vizibility) a unui far este arcul de orizont luminat de acesta. În hărţi şi în cartea farurilor, sectorul de vizibilitate este indicat prin *relevmente limită*, în sistem circular, cu sensul de la larg spre far.

Sector de lumină (sector light) a unui far este un anumit sector (din sectorul total de vizibilitate), care are o caracteristică aparte (culoare sau semnal diferit), în scopul de a marca părţi ale orizontului de interes deosebit pentru navigaţie (marcarea unei pase, indicarea prezenţei unor pericole de navigaţie etc.). În documentaţia nautică, un asemenea sector este indicat prin relevmente limită.

Relevmente (bearings) şi *aliniamentele (leading lights)* sunt indicate în Cartea farurilor şi în hărţi cu sensul de la larg spre reperele de navigaţie, în sistem circular, de la 0° la 359°.

Lumină direcţională (directional lights) este o lumină care acoperă un sector foarte îngust, indicând o pasă de-a lungul căreia se poate naviga în siguranţă; acest sector îngust este flancat de regulă de sectoare de lumină diferită.

Farurile aeriene (aero lights) sunt faruri de o mare intensitate, plasate la înălţimi mari, destinate navigaţiei aeriene. Cele care sunt vizibile de la larg (în dese cazuri la distanţe foarte mari) sunt trecute în cartea farurilor cu menţiunea „aero".

Faruri aero-maritime (aeromarine lights) sunt faruri de tip maritim, al căror fascicul de lumină este orientat şi deasupra orizontului (într-un unghi de 10°-15°), pentru uzul avionelor.

C *Indicaţii practice privind observarea farurilor*

În condiţii de temperaturi joase, lanterna farurilor poate fi acoperită de nori şi gheaţă, capabilă să le reducă apreciabil vizibilitatea.

Farurile amplasate la înălţimi mari sunt mai frecvent acoperite de nori şi ceaţă, decât cele aflate aproape de nivelul mării.

La limita unor sectoare de culori diferite ale unui far apare un sector redus, în care lumina este obturată, de culoare nedeterminată sau albă. Pe vreme rece şi îndeosebi în condiţii de schimbare bruscă a condiţiilor meteorologice, lanterna farurilor se umezeşte sau îngheaţă. În asemenea situaţii, sectorul de incertitudine

crește considerabil și lumina, în sectoarele colorate, tinde spre alb. Efectul este mai evident în sectoarele de lumină verde și, în general, când intensitatea luminoasă este redusă.

Distanța unui observator față de un far nu poate fi estimată după intensitatea luminoasă aparentă.

Distanța la care se observă lumina farurilor variază considerabil în funcție de condițiile atmosferice. Astfel, o lumină de o intensitate redusă poate deveni ușor invizibilă, în condiții de pâclă, evaporație, ploaie etc.; în asemenea condiții, vizibilitatea unei lumini de intensitate mare poate fi apreciabil redusă.

În condițiile unei atmosfere clare, cu refracție puternică, lumina farurilor poate fi văzută la o distanță mult superioară bătăii geografice, înscrisă în documentația nautică.

Pentru exemplificare, redau următoarele observații din *jurnalele de bord* personale:

– la bordul navei ARDEAL, voiajul Belawan (Sumatra) – Constanța, 17 august 1958: *„Executăm aterizarea pe capul Guardafui; furtună puternică, vânt SSW forța 9. Un punct astronomic precis făcut la crepusculul de seară și folosirea sondajelor în zona bancului extins spre est ne-au asigurat succesul aterizării, căci farul Guardafui, cu o bătaie de 30 Mm, nu a fost observat decât la distanța de 7 Mm (ora 23.40). Vizibilitatea la larg bună. Capul Guardafui învelit însă într-un gen de pâclă, cauzată se pare de nisipurile antrenate de vântul puternic de SSW"*;

– la bordul navei OLTENIA, voiajul Constanța – Rangoon, 11 ianuarie 1961: *„De la insula Preparis la nava far CHINA BAKIR, de unde se ambarcă pilotul pentru Rangoon, navigația cere o atenție deosebită; coasta joasă, foarte slab balizată și curenți puternici de maree (până la 4 Nd). Sunten favorizați însă de o vizibilitate excepțională. Observăm și identificăm nava far KRISHNA după* lumina difuză *văzută deasupra orizontului, la distanța de 29 Mm; lumina ne apare pe linia orizontului la 23 Mm, deși bătaia farului este de numai 11 Mm. Transparența neobișnuită a atmosferei și refracția puternică oferă într-adevăr condițiile unei vizibilități rar întâlnite"*.

Privind folosirea navelor far, considerăm utile următoarele indicații:

– navele far sunt vopsite, de regulă, în roșu, negru sau verde, având numele scris în borduri;

– înălțimea dată în cartea farurilor este distanța de la linia de plutire la centrul lanternei;

– la prova, la înălțimea de 6 picioare deasupra punții, se arată o lumină fixă albă, care indică orientarea provei navei far și deci direcția curentului;

– când nava far este derivată din poziția în hartă, de o cauză oarecare, nu mai transmite caractersitica sa ca far, ci se comportă ca o navă oarecare, aprinzând luminile și emițând semnalele de navă la ancoră;

– retragerea navelor far de pe pozițiile lor, în practică, se preavizează prin *avize pentru navigatori*, luându-se și măsuri de înlocuire a acestora. Pot însă să apară și excepții, deoarece preavizarea și înlocuirea navelor far retrase nu constituie o obligație reglementată a administrațiilor cărora aparțin, situație de care cei de pe punțile de comandă ale navelor nu trebuie să fie surprinși.

11 DETERMINAREA POZIŢIEI NAVEI CU RELEVMENTE

§1 Alegerea reperelor de navigaţie. Măsurarea relevmentelor

Cosiderând situaţia normală de la bord, când compasul giroscopic şi cel magnetic sunt în bună stare de funcţionare şi cu corecţiile cunoscute, procedeele de determinare a punctului navei cu relevmente sunt cel mai frecvent aplicate în practica navigaţiei costiere. Aceste procedee oferă rapiditate şi suficientă precizie; rapiditatea unui procedeu de determinare a punctului navei în navigaţia costieră, în condiţiile actuale, când traficul maritim a devenit extrem de intens în multe zone costiere, trebuie privită cu importanţa cuvenită, deoarece asigură personalului de cart de pe comadă posibilitatea de a-şi îndeplini cu eficienţă şi celelalte obligaţii privind conducerea navei în siguranţă (executarea veghei de navigaţie, evitarea pericolului de coliziune etc.). De asemenea, merită să se reţină că, în condiţii dificile de navigţie, între observaţiile costiere, măsurarea relevmentelor este cea mai comodă şi mai sigură.

Alegerea reperelor pentru determinarea poziţiei navei, ordinea şi modul în care se execută măsurarea relevmentelor prezintă o importanţă deosbită pentru precizia punctului.

În alegerea reperelor de navigaţie pentru măsurarea relevmentelor trebuie avute în vedere următoarele criterii:

– obiectele să fie vizibile de la alidadă şi să fie trecute cu precizie în hartă;

– relevarea cu prioritate a reperelor mai apropiate de navă, deoarece eroarea liniară în poziţia navei corespunzătoare unei erori unghiulare a relevmentului creşte cu distanţa la obiectul observat (vezi relaţia 10-1);

– relevarea cu prioritate a obiectelor situate la o înălţime cât mai mică faţă de orizont, deoarece în cazul unei erori de înclinare a alidadei, eroarea în relevment creşte cu înălţimea reperului observat (vezi relaţia 10-4). Acest criteriu trebuie avut în vedere îndeosebi în condiţii de mare montată, cu ruliu şi tangaj puternic, când posibilitatea apariţiei acestei erori creşte;

– se relevează reperele care oferă condiţii favorabile de intersecţie a dreptelor de relevment. După cum se va vedea în cele ce urmează, unghiul de interesecţie cel mai favorabil este de 90°, în cazul determinării punctului navei cu două relevmente; 60° sau 120°, la determinarea punctului navei cu trei relevmente. Se recomandă ca unghiul de intersecţie a dreptelor de relevment să nu fie mai mic de 30 ° şi mai mare de 150°.

Eroarea punctului navei determinat cu relevmentele poate fi cauzată de:

– *erori accidentale de observație*, reprezentate de erorile proprii observatorului, cele cauzate de condițiile de observație, de înclinarea alidadei etc.

Pentru un observator cu antrenament mediu, aceste erori pot atinge valori de ±0°. 3, în condiții normale de observație;

– *erori accidentale în trasarea relevmentelor*. Relevmentele adevărate sunt calculate la precizie de 0°.1, iar echerele raportoare și rozele de pe hartă, gradate la precizie de 1°. Trasare relevmentelor la precizie de 0°.1, pe bază de apreciere, precum și translarea lor cu ajutorul echerelor sau al liniilor paralele pot cauza o eroare medie de ± 0°.2;

– *eroarea în corecția compasului* (Δc sau Δg), care este constantă pentru un anumit drum al navei. Așa cum se arată mai jos la § 2, această eroare poate fi ușor identificată și eliminată, în cazul determinării navei cu trei relevmente;

– *eroarea datorată nesimultaneității în măsurarea relevmentelor*. În cazul determinării punctului navei cu *observații simultane*, relevmentele se măsoară de același observator, repede unul după altul, astfel ca spațiul parcurs de navă între observații să poată fi considerat practic neglijabil. Eroarea datorată nesimultaneității în măsurarea relevmentelor este funcție de: intervalul de timp dintre observații și viteza unghiulară de variație a relevmentului.

Viteza unghiulară de variație a relevmentului este cu atât mai mare, cu cât viteza navei este mai mare, reperul observat mai aproape de travers și distanța la acesta mai mică; și invers, *este cu atât mai mică, cu cât reperul observat este mai apropiat de axa longitudinală a navei spre prova sau pupa, distanța la obiect este mai mare și viteza navei mai mică*. Această eroare poate fi redusă prin măsurarea relevmentelor la diferitele repere în ordinea: *se relevează întâi obiectul cel mai apropiat de axa longitudinală a navei, spre prova sau pupa, și se termină cu cel mai apropiat de travers*; de asemenea, efectul acestei erori poate fi redus prin aplicarea *procedeului de reducere a relevmentelor la același moment* (vezi § 2 și § 3).

Sintetizând cele arătate mai sus, precum și în capitolul X, § 4, punctul 2, în modul de relevare a reperelor costiere se vor respecta următoarele reguli:

– reperele care urmează a se releva trebuie identificate cu atenție, eliminându-se pericolul unei confuzii;

– relevmentele se măsoară repede unul după altul, începând cu obiectul cel mai apropiat de axa longituinală a navei (spre prova sau pupa) și terminând cu reperul cel mai apropiat de travers;

– pe timpul nopții când farurile relevate se află la distanță mare, considerente de ordin practic privind măsurarea relevmentelor pot impune schimbarea ordinii executării observațiilor, astfel: se începe relevarea cu farul care are semnalul luminos de cea mai scurtă durată și se termină cu cel ce are semnalul luminos de cea mai lungă durată;

– alidada trebuie menținută în planul vertical al obiectului observat. Acest fapt trebuie avut în vedere îndeosebi când obiectul relevat are o înălțime mare deasupra orizontului;

– în condițiile de balans al navei, alidada se orientează pe direcția obiectului și se așteaptă momentul favorabil citirii relevmentului: nava cât mai aproape de poziția sa dreaptă, roza compasului stabilă și nava stabilă la drum:

– când relevmentul se citește la compasul magnetic, se stabilește drumul compas din momentul observației, funcție de care se determină deviația compas pentru convertirea relevmentelor.

În cazul determinării poziției navei cu *relevmente simultane*, odată cu executarea observațiilor, se citesc ora bordului (la precizie de minut) și locul (la precizie de cablu); la determinarea punctului navei cu *relevmente succesive*, aceste citiri se fac la fiecare observație.

§2 Determinarea punctului navei cu trei relevmente simultane

1 Cazul general. Reducerea relevmentelor la același moment

Având în vedere trei repere de navigație, A, B, C (fig. 11-1), care satisfac criteriile enunțate mai sus pentru determinarea punctului navei cu trei relevmente simultane, se procedează astfel:

– se identifică obiectele și se relevează în ordinea A, B, C, repede unul după altul. Totodată se citesc ora bordului și lochul;

– se convertesc relevmentele compas în relevmente adevărate, care se trasează pe hartă prin cele trei obiecte observate. La intersecția celor 3 relevmente se află punctul navei, Z.

La navele cu viteză mare și când distanța la reperele relevate este mică, iar condițiile de observație nu permit o măsurare rapidă a celor trei relevmente, *eroarea*

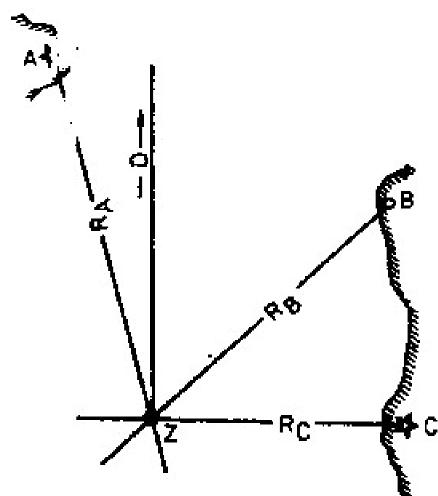


Fig. 11-1

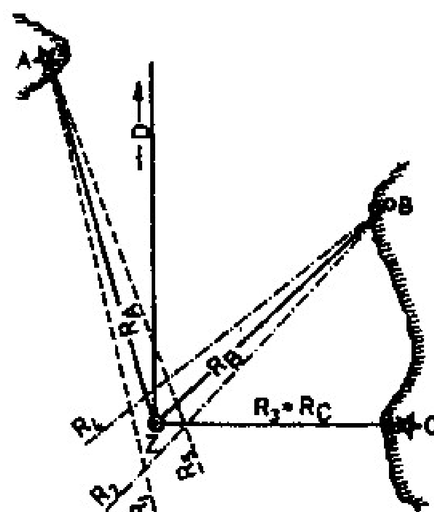


Fig. 11-2

de nesimultaneitate a observațiilor poate fi micșorată prin *procedeul reducerii relevmentelor la celași moment* (de regulă, pentru momenteul celui de al treilea relevment). Pentru edificare, considerăm că determinarea poziției navei cu trei relevmente la obiectele *A, B, C* (fig. 11-2) se execută în condițiile arătate, când

eroarea de nesimultaneitate a observaţiilor este mare; pentru reducerea relevmentelor la momentul observaţiei a treia (la obiectul *C*), se procedează astfel:

– după cum reiese din figura 11-2, relevarea obiectelor trebuie făcută în ordinea *A, B, C.* la intervale de timp cât mai egale, se iau relevmentele: R_1 la *A*, R_2 la *B*, R_3 la *C*, R_4 la *B* şi R_5 la *A;*

– se determină relevmentele care urmează a fi trasate pe hartă, din cele observate, pentru momentul relevării obiectului *C*, astfel:

– relevmentul la *A* .... $R_A = \frac{R_1 + R_5}{2}$;

– relevmentul la *B* .... $R_B = \frac{R_2 + R_4}{2}$;

– relevmentul la *C* .... $R_C = R_3$

Acest procedeu are la bază accepţiunea că pentru un interval de timp redus, variaţia relevmentului la acelaşi obiect este proporţională cu timpul şi că intervalul de timp dintre observaţii este mic şi se menţine practic acelaşi. Relevmentele R_A, R_B şi R_C astfel determinate por fi considerate practic ca observaţii simultane, executate în momentul relevării obiectului *C*;

– se trasează dreptele de relevment R_A, R_B şi R_C prin cele trei repere observate şi la intersecţia lor *se obţine punctul navei Z, redus pentru momentul relevării obiectului C.* Dacă observaţiile nu sunt afectate de alte erori, cele trei drepte de relevment se intersectează practic în acelaşi punct.

2 Determinarea punctului navei cu trei relevmente simultane afectate de o eroare sistematică în corecţia compasului. Triunghiul erorilor

În cazul existenţei unei erori sistematice în corecţia compasului, relevmentele la cele trei obiecte, luate două câte două, vor determina câte o intersecţie, obţinându-se astfel un *triunghi al erorilor mnp* (fig. 11-3). Suprafaţa acestui triunghi este minimă, atunci când are forma unui triunghi echilateral; pentru ca interesecţia dreptelor de poziţie să dea un triunghi echilateral, trebuie ca diferenţa relevmentelor la cele trei obiecte să fie de 60° sau 120°. De aceea, în alegerea obiectelor pentru determinarea punctului navei cu trei relevmente, se caută ca reperele să fie văzute sub unghiuri cât mai apropiate de aceste valori.

În practica navigaţiei costiere, dacă triunghiul erorilor determinat de intersecţia relevmentelor este mic (lungimea laturilor nedepăşind 1 Mm), punctul navei se consideră în centrul de greutate al triunghiului.

Dacă triunghiul erorilor obţinut este mare, se procedează la o verificare a naturii erorilor, repetând operaţiunea de determinare a punctului navei cu relevmente simultane la aceleaşi obiecte. În cazul în care triunghiul erorilor se menţine ca mărime şi formă, înseamnă că apariţia lui nu este cauzată de erori accidentale de observaţie sau de calcul, ci de o eroare sistematică conţinută în corecţia compasului.

Pentru stabilirea soluției de determinare a punctului navei într-un asemenea az, presupunem că se procedează la executarea observațiilor la obiectele *A*, *B*, *C* (fig. 11-4).

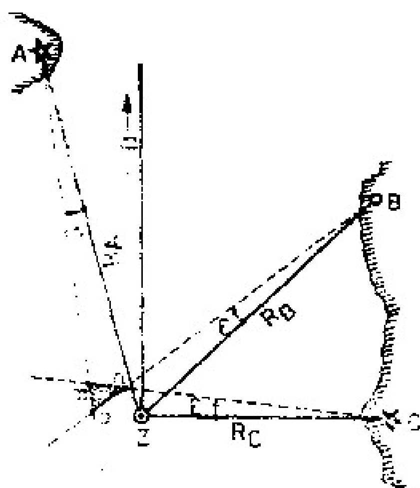


Fig. 11-3

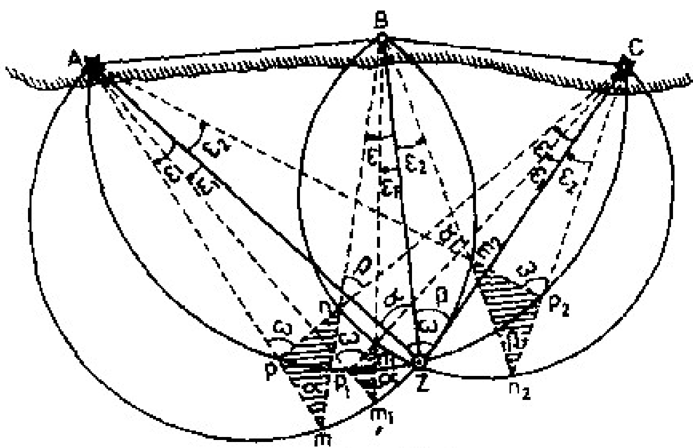


Fig. 11-4

Dacă relevmentele la cele 3 obiecte nu sunt afectate de erori, ele se vor intersecta în același punct *Z*, care reprezintă punctul observat al navei. Punctul *Z* reprezintă în același timp vârful comun al unghiurilor orizontale sub care se văd cele trei obiecte:

– unghiul α, dintre obiectele *A* și *B*, cu vârful pe arcul *AZB* (capabil de α), egal cu diferența dintre relevmentele reperelor *A* și *B* (vezi cap. 10, § 4, pct. 2*B*):

– unghiul β, dintre obiectele *B* și *C*, cu vârful pe arcul *BZC* (capabil de β), egal cu diferența dintre relevmentele celor două repere;

– unghiul ω = α + β, dintre obiectele *A* și *C*, cu vârful pe arcul *AZC* (capabil de ω).

Dacă relevmentele sunt afectate de o eroare sistematică ε conținută în corecția ompasului, interesecția acestora determină formarea triunghiului erorilor *mnp*. Unghiurile dintre dreptele de relevment eronate sunt aceleași: α, β și ω; ele se obțin ca diferență dintre valorile unghiulare ale relevmentelor eronate, eroarea ε ce le afectează fiind constantă.

Vârfurile triunghiului erorilor *mnp* sunt situate pe cele trei arce de cerc: vârful *m* pe arcul *AZB*, *n* pe arcul *BZC* și *p* pe arcul *AZC*.

Punctul observat al navei *Z*, după cum se vede în fig. 11-4, se află în afara triunghiului erorilor.

Dacă relevmentele sunt afectate de o eroare sistematică ε_1, mai mică și de același semn cu ε, se obține triunghiul erorilor $m_1n_1p_1$, asemenea cu *mnp*, mai mic, mai aproape de *Z* și de aceeași parte față de direcția *ZB*.

În cazul când relevmentele sunt afectate de o eroare sistematică ε_2, de semn contrar cu ε, se determină triunghiul erorilor $m_2n_2p_2$, asemenea cu triunghiul *mnp*, aflat în partea opusă față de direcția *ZB* și inversat ca poziție.

Cele arătate permit stabilirea a două procedee pentru determinaea poziției navei din cele trei relevmente simultane, afectate de o eroare sistematică: *procedeul triunghiurilor asemenea și procedeul locurilor de egală diferență de relevment.*

A *Procedeul triunghiurilor asemenea*

Deoarece în practica navigației eroarea sistematică ε are o valoare redusă, acest procedeu se bazează pe substituirea arcelor de cerc de tipul *mZ, nZ* și *pZ*, prin niște drepte; aceste arce de cerc de poziție capabile de unghiurile α, β și ω fiind mici, între niște limite apropiate de punctul navei Z, se înlocuiesc prin drepte de poziție. Admițând că avem determinate triunghiurile asemenea *mnp* și $m_1n_1p_1$ prin intersecția a două serii de relevmente la obiectele A, B, C (fig. 11-4), care diferă cu o mărime constantă ε, se procedează la trasarea dreptelor de poziție mm_1, nn_1, pp_1, prin unirea vârfurilor de același nume ale celor două triunghiuri; la intersecțai acestora se obține punctul navei.

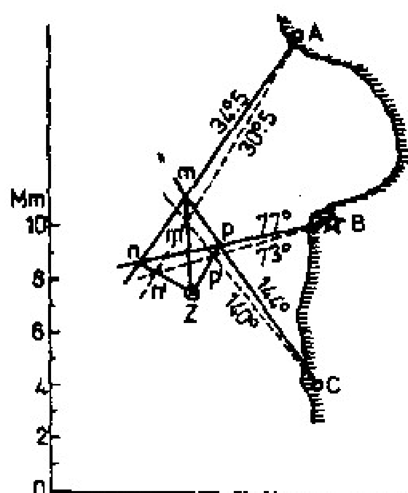


Fig. 11-5

În practica navigației, procedeul se aplică astfel:

– se trasează cele trei relevmente simultane și se obține triunghiul erorilor;

– se reduce sau se mărește valoarea celor trei relevmnete cu o mărime constantă cuprinsă între 2° și 5° (funcție de scara hărții și distanța la obiecte, care se trasează prin *A*, *B* și *C*. Se obține astfel un triunghi asemenea cu triunghiul erorilor;

– se trasează dreptele de poziție determinate prin unirea vârfurilor de același nume ale celor două triunghiuri, la interesecția cărora se obține punctul navei.

Punctul navei este în interiorul triunghiului erorilor, când nava se afla în interiorul triunghiului format de cele trei obiecte relevate; în toate celelalte cazuri punctul navei este exterior celor două triunghiuri.

Exemplu (fig. 11-5). În ziua de 3 iulie 1973, o navă merge în *Dc* = 35° cu viteza de 12 Nd. Pentru determinarea punctului navei se măsoară următoarele relevmente:

– Rc_1 = 30° ..... la obiectul *A*;

– Rc_2 = 72°.5 ... la farul *B*;

– Rc_3 = 139°.5 ... la obiectul *C*.

d_{1973} = +3°.2; δ = +1°.3 pentru *Dc* = 35° (din tabela de deviații). Observațiile au fost executate după plecarea dintr-un port unde nava a încărcat minereu de fier, sitația în care se constată că deviațiile conținute în tabelă nu mai corespund.

Se cere determinarea punctului navei și a deviației pentru *Dc* = 35°.

Rezolvare:

– *convertirea relevmentelor:*

A	*B*	*C*	*Corecția compasului:*
$Rc = 30°$	$72°.5$	$139°.5$	$d = +3°.2$
$+\Delta c = +4°.5$	$+4°.5$	$+4°.5$	$+\delta = +1°.3$
$Ra = 34°.5$	$77°$	$144°$	$\Delta c = +4°.5$

– se trasează relevmentele adevărate prin *A*, *B* și *C*; se obține triunghiul erorilor *mnp;*

– se reduce corecția compasului cu 4°, deci $\Delta'c = +0°.5$. Noile relevmente: $R_A = 30°.5$; $R_B = 73°$; $Rc = 140°$, se trasează pe hartă și se obține triunghiul asemenea *m'n'p'*;

– se trasează dreptele de poziție mm', nn', pp', unind vârfurile de același nume ale celor două triunghiuri și la interesecția lor se obține punctul navei *Z*;

– se unește punctul *Z* cu unul din reperele observate, de exemplu cu *A*, și se obține $Ra = 21°.5$. Se determină Δc și δ pentru drumul la compas al navei:

$$\begin{aligned} Ra &= 21°.5 \\ -Rc &= 30°.5 \\ \hline \Delta c &= -8°.5 \\ -d &= +3°.2 \\ \hline \delta &= -11°.7 \text{ pentru } Dc = 35° \end{aligned}$$

B. *Procedeul locurilor de egală diferență de relevment*

La capitolul 10, § 4, punctul 2*B* s-a arătat că arcul de cerc capabil obținut din diferența relevmentelor compas la două obiecte este independent de eroarea sistematică pe care acestea o conțin. Deci, pentru determinarea poziției navei din relevmentele compas simultane la reperele A, B, C (fig. 11-4), se va proceda astfel:

– se măsoară relevmentele compas la cele trei obiecte;

– se calculează unghiurile orizontale α și β din relevmentele compas observate: $\alpha = Rc_B - Rc_A$ și $\beta = Rc_C - Rc_B$;

– se trasează arcele de cerc *AZB* și *BZC* capabile de unghiurile α și β (în modul arătat la cap. 10, §2, pct. 2), reprezentând locurile de egală diferență de relevment, la intersecția cărora se află poziția navei *Z*.

§3 Determinarea punctului navei cu două relevmente

1 Determinarea punctului navei cu două relevmente simultane

Considerăm că nava merge în drum *D* și se văd două obiecte *A* și *B* (fig. 11-6), care oferă condiții favorabile de observație; pentru determinarea poziției navei cu două relevmente simultane se procedează astfel:

– se relevează obiectele repede unul după altul, în ordinea *A*, *B*. Odată cu ultimul relevment se citesc ora bordului și lochul;

– se convertesc relevmentele compas în relevmente adevărate, care se trasează pe hartă prin obiectele observate. La intersecţia celor două relevmente se află punctul navei Z.

La navele cu viteză mare, când distanţa la obiectele relevate este mică şi condiţiile de observaţie nu permit o măsurare rapidă a celor două relevmente, astfel ca acestea să poată fi considerat *simultane*, eroarea de nesimultaneitate a observaţiilor se micşorează prin *reducerea relevmentelor la acelaşi moment* (momentul observaţiei a doua).

Procedeul este similar celui arătat la §2; la intervale de timp cât mai egale, se iau relevmentele: R_1 la *A*, R_2 la *B* şi R_3 la *A*. Se determină relevmentele care urmează a fi trasate pe hartă pentru momentul relevării ultimului obiect, astfel:

– relevmentul la *A* ... $R_A = \dfrac{R_1 + R_3}{2}$

– relevmentul la *B* ... $R_B = R_2$.

La intersecţia relevmentelor R_A şi R_B se determină punctul observat al navei, redus pentru momentul observării obiectului al doilea.

În scopul stabilirii unor reguli practice pentru determinarea punctului navei cu două relevmente simultane, vom face o succintă analiză a preciziei acestui procedeu sub influenţa unei erori sistematice în corecţia compasului.

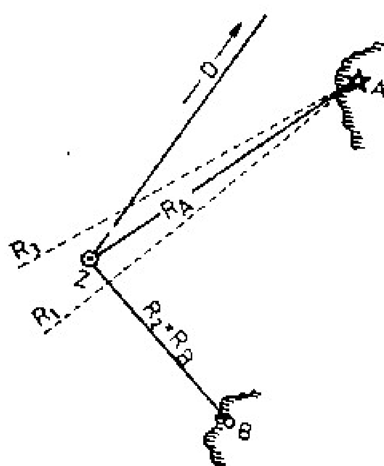


Fig. 11-6

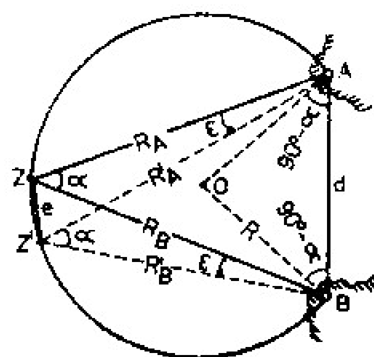


Fig. 11-7

Pentru aceasta, presupunem că punctul *Z* reprezintă poziţia adevărată a navei, determinată cu două relevmente simultane la reperele *A* şi *B*, aflate la distanţa *d* unul de altul (fig. 11-7).

În cazul în care cele două relevmente sunt afectate de o eroare sistematică ε, punctul eronat al navei *Z'* se află pe acelaşi arc de cerc AZB capabil de unghiul orizontal α, determinat de diferenţa relevmentelor eronate $\alpha = R'_B - R'_A$; raza arcului de cerc capabil de α este *R*.

Eroarea în poziţia navei determinată de ε este $ZZ' = e$, coardă a arcului de cerc capabil de α; segmentul $d = AB$ este coarda aceluiaşi arc de cerc. Într-un cerc,

raportul dintre o coardă către raza cercului este egal cu dublul sinusului unghiului cu vârful pe cerc, având laturile sprijinite pe această coardă. În cazul coardelor e şi d, deci:

$$\frac{e}{R} = 2\sin\varepsilon \qquad \text{iar } \frac{d}{R} = 2\sin\alpha$$

din care:

$$\frac{e}{d} = \frac{\sin\varepsilon}{\sin\alpha}$$

rezultând:

$$e = d\sin\varepsilon\ \text{cosec}\,\alpha \qquad (11\text{-}1)$$

Relaţia (11-1) conduce la următoarele concluzii şi reguli practice de urmat:

– eroarea poziţiei navei creşte cu distanţa dintre obiectele relevate. Pentru ca distanţa dintre obiectele relevate să poată fi practic mică, astfel ca şi unghiul de intersecţie dintre relevmente să se asigure favorabil, se impune relevarea cu prioritate a obiectelor apropiate de navă:

– eroarea poziţiei creşte cu mărimea erorii sistematice în corecţia compasului. Este necesar deci *controlul corecţiei compasului în fiecare drum*, atunci când condiţiile de observaţie şi navigaţie permit;

– eroarea poziţiei navei este minimă când unghiul α, sub care se intersectează relevmentele, este egal cu 90°(cosec 90° = 1). Considerând, de exemplu $\varepsilon = 3°$, $e = 0{,}052\ d$ pentru $\alpha = 90°$ şi $e = 0{,}105\ d$ dacă $\alpha = 30°$. Rezultă că, la o anumită distanţă d dintre obiectele relevate şi o aceeaşi eroare sistematică ε, eroarea poziţiei navei e este dublă la un unghi α de intersecţie a relevmentelor de 30° (150°), faţă de o intersecţie sub un unghi de 90°.

Avându-se în vedere şi faptul că, cosecanta creşte rapid la unghiuri mai mici de 30° şi mai mari de 150°, din cele arătate mai sus se impune concluzia: *în cazul determinării punctului navei cu două relevmente, unghiul cel mai favorabil la obiectele relevate este de 90°; se recomandă să se evite relevarea obiectelor care se văd sub unghiuri mai mici de 30° şi mai mari de 150°*. Aceste limite nu trebuie privite ca restrictive, când corecţia compasului se cunoaşte cu precizie şi distanţa la obiectele relevate este relativ mică.

Procedeul determinării poziţiei navei cu două linii de poziţie prezintă dezavantajul că nu asigură posibilitatea controlului preciziei punctului obţinut; acest avantaj este asigurat numai de procedeele care folosesc trei sau mai multe observaţii.

Totuşi, în practica navigaţiei costiere, verificarea preciziei unui punct obţinut cu două relevmente simultane se poate realiza în felul următor: *se determină poziţia navei la intervale de 10-15 minute, citindu-se cu atenţie lochul; dacă punctele astfel obţinute, unite printr-o dreaptă, se menţin pe drumul navei la distanţele indicate de citirile la loch*, se conclude că *punctele determinate sunt precise.* Dacă o serie de puncte astfel determinate se menţin rectilinii de-a lungul drumului navei şi câte unul apare "răzleţ", distanţat de acest drum, se conclude că acesta este rezultatul unor erori accidentale de observaţie sau calcul.

Când corecția compasului este cunoscută și condițiile de observație sunt favorabile, procedeul determinării poziției navei cu două relevmente simultane este suficient de precis, expeditiv, fiind folosit frecvent în practica navigației costiere. În scopul verificării preciziei, se impune însă a nu se limita la o singură operațiune de determinare a poziției, ci a se repeta până când cel puțin o serie de trei puncte indică drumul urmat de navă.

2 Determinarea punctului navei cu două relevmente succesive la două obiecte

Când spațiul parcurs de navă în intervalul de timp dintre două relevmente măsurate la două obiecte este mare, astfel că procedeul reducerii relevmentelor la același moment nu mai este aplicabil, poziția navei se determină considerând observații succesive.

Presupunem că nava merge în drumul *D* (fig. 11-8) și reperele *A* și *B* apar succesiv în vedere; pentru determinarea poziției navei se procedează astfel:

– se relevează obiectul *A* în relevmentul R_A și, simultan, se citesc ora bordului și lochul (cl_1). Se trasează relevmentul adevărat R_A prin reperul *A*; intersecția acestuia cu drumul navei este punctul Z_1;

– în momentul când apare în vedere obiectul *B*, se ia relevmentul R_B la acesta. Simultan se citesc ora bordului și lochul (cl_2). Se trasează relevmentul adevărat R_B prin reperul *B*;

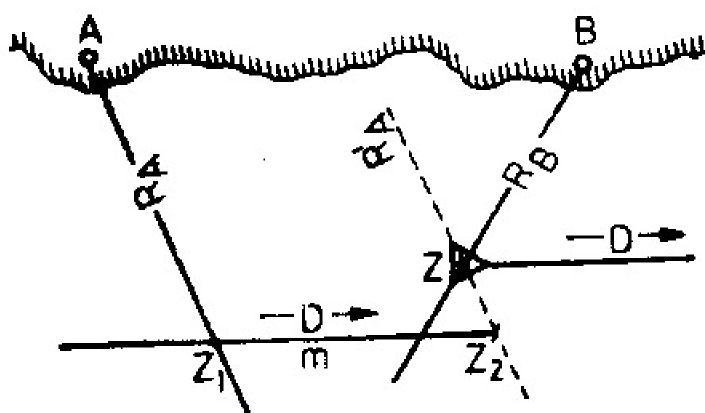


Fig. 11-8

– se calculează distanța parcursă de navă în intervalul de timp dintre observații: $m = f(cl_2 - cl_1)$;

cu o deschizătură de compas egală cu *m* și cu originea în Z_1, se intersectează drumul navei în Z_2, care reprezintă punctul estimat al navei în raport cu Z_1;

– se transleazǎ relevmentul R_A prin Z_2 și la intersecția dreptei de relevment transportată R'_A cu relevmentul R_B se obține *punctul observat-estimat al navei Z.*

Precizia punctului observat-estimat este funcție de precizia observațiilor și a estimei din intervalul de timp dintre observații.

§ 4 Determinare punctului navei cu două relevmente succesive la un singur obiect

1 Rezolvarea problemei în zone fără curenţi

În cazul în care se află în vedere un singur obiect A (fig. 11-9), punctul navei se determină cu două relevmente succesive la acesta, prima drepată de relevment R_1 fiind transportătă pentru momentul ultimului relevment R_2, funcţie de drumul D urmat de navă şi distanţa m parcursă în intervalul de timp dintre observaţii. Intervalul de timp dintre observaţii este determinat de necesitatea asigurării unei variaţii a relevmentului de cel puţin 30°, fiind funcţie de viteza navei, distanţa la obiect şi relevmentul prova în care acesta se vede.

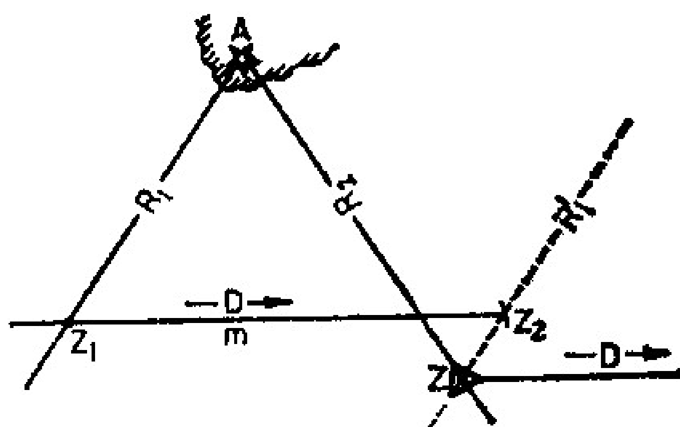


Fig. 11-9

Rezolvarea grafică pe hartă este identică cu cea prezentată pentru cazul determinării punctului navei cu două relevmente succesive la două obiecte, putând fi urmărită pe figura 11-9.

Punctul observat-estimat al navei, în acest caz, mai poate fi obţinut şi prin detrminarea distanţei d la obiectul A pentru momentul măsurării ultimului relevment R_2, (fig. 11-10); punctul navei în acest caz rezultă din intersecţia dreptei de relevment R_2, cu cercul de poziţie de rază d, având centrul în A.

Considerând nava în drumul D, distanţa m parcursă între observaţii, relevmentele la obiect R_1 şi R_2, relevmentele prova $Rp_1 = R_1 - D$ şi $Rp_2 = R_2 - D$ din momentul celor două observaţii, distanţa d se obţine din triunghiul AZ_IZ, astfel:

$$\frac{d}{\sin Rp_1} = \frac{m}{\sin \Delta Rp}$$

unde $\Delta Rp = \sphericalangle ZAZ_I = Rp_2 - Rp_1$; deci:

$$d = m \sin Rp_1 \operatorname{cosec} (Rp_2 - Rp_1) \qquad (11\text{-}2)$$

Formula (11-2) este rezolvată de tabela "Determinarea distanţei la un obiect cu două relevmente succesive şi distanţa parcursă între ele" conţinută în diferite table nautice, precum şi în "Conducerea navei" de Gh. I Balaban (p. 97). Această tabelă

are argumentele de intrare Rp_1 şi Rp_2 şi dă un factor K = sin Rp_1 cos (Rp_2 – Rp_1); deci, distanţa $d = mK$.

Exemplu (fig. 11-11). O navă merge în Dg = 174° (Δg = –1°); se fac următoarele observaţii la farul Şabla:

– ora 07.35 ... Rp_1 = 52°; Dg = 174°; cl_1= 42.2 Mm;

– ora 07.55 ... Rp_2 = 82°; Dg = 174°; cl_2 = 46.7 Mm; factorul de corecţie al lochului f = 1.

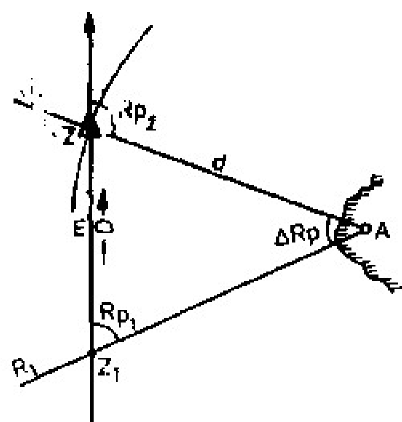


Fig. 11-10

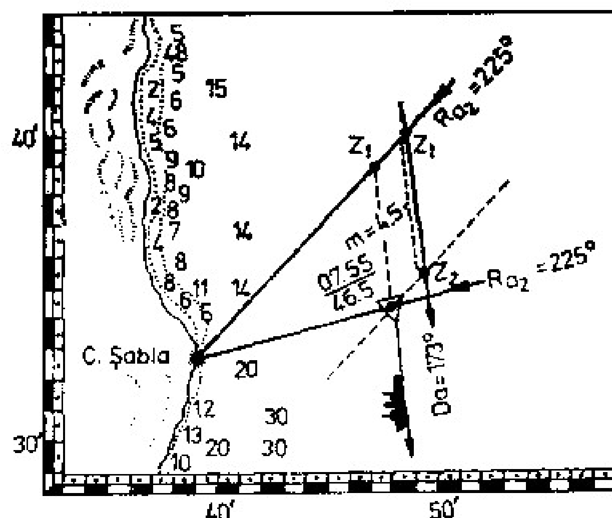


Fig. 11-11

Se cere determinarea punctului navei.

Rezolvarea grafică prin transportul primei drepte de relevment:

– se convertesc relevmentele obserate şi se obţin: Ra_1 = 225° şi Ra_2 = 255°, care se trasează pe hartă. Relevmentul Ra intersectează drumul navei în Z_1;

– se calculează distanţa parcursă de navă între cele două relevmente: $m = f(cl_2 - cl_1) = (46._7 - 42._2) \times 1 = 4.5$ Mm;

– se trasează distanţa parcursă de navă m pe drumul navei, cu originea în Z_1 şi se obţine Z_2;

– se transportă Ra_1 = 225° prin Z_2, la intersecţia căruia cu Ra_2 = 255°, se obţine punctul observat-estimat al navei pentru ora 07.55.

Rezolvarea prin calculul distanţei la obiect în momentul ultimei relevări:

– funcţie de Rp_1 = 52° şi Rp_2 = 82° se obţine K = 1.5; deci: d = mk = 4.5 × 1.5 = = 6.8 Mm;

– se trasează Ra_2 = 255° prin farul de la Şabla şi cercul de poziţie cu centrul în acest far şi raza de 6.8 Mm, la intersecţia cărora se determină punctul observat-estimat al navei la ora 07.55.

2 Determinarea punctului navei cu două relevmente succesive la un singur obiect în zone cu curenţi

Când în zona de navigaţie există un curent cunoscut, punctul navei cu două relevmente succesive R_1 şi R_2 la reperul A se obţine astfel (fig. 11-12):

– se trasează relevmentele succesive R_1 şi R_2 prin reperul A;

– se determină drumul Df şi distanţa m deasupra fundului, în intervalul de timp t dintre observaţii, construind triunghiul spaţiilor AMN, astfel:

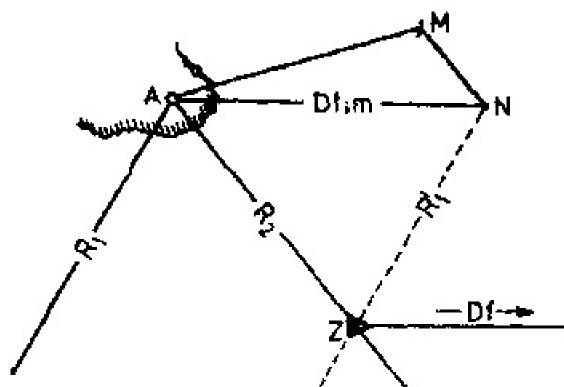


Fig. 11-12

– se trasează prin reperul A, drumul şi distanţa prin apă AM, în timpul t; prin M, se trasează direcţia curentului şi spaţiul corespunzător MN, în acelaşi timp; se uneşte reperul A cu extremitatea N a segmentelor MN şi se obţine drumul Df şi distanţa m deasupra fundului, parcursă de navă în timpul t;

– se transportă dreapta de relevment R_1 prin N. La intersecţia relevmentului R_2 cu dreapta de relevment transportată R'_1, se obţine punctul observat-estimat al navei Z pentru momentul ultimei observaţii.

§5 Cazuri particulare de determinare a poziţiei navei cu relevmente succesive la un singur obiect

În cele ce urmează se analizează o serie de cazuri particulare, în care poziţia navei se determină prin intersecţia ultimului relevment la obiect sau a relevmentului când reperul se vede la travers, cu cercul de egală distanţă din acelaşi moment. Ne rămâne deci să stabilim procedeele de determinare a distanţei; particularitatea cazurilor analizate constă în găsirea relaţiilor celor mai simple pentru calculul distanţei din relevmentele succesive măsuarte.

Notaţiile folosite sunt următoarele:

– Rp_1 = relevmentul prova semicircular, măsurat în momentul primei observaţii;
– Rp_2 = relevmentul prova semicircular măsurat în momenrul observaţiei a doua;
– m = distanţa parcursă de navă între relevmentele observate;
– d_2 = distanţa la obiect în momentul celui de-al doilea relevment;
– $d\perp$ = distanţa la obiect când acesta se vede la travers ("distanţa la travers");
– D = drumul navei

1 Procedeul relevmentului prova dublu

Obiectul A este relevat succesiv astfel încât $Rp_2 = 2\ Rp_1$ (fig. 11-13); în acest caz, înseamnă că triunghiul AZ_1Z este isoscel, deoarece $\sphericalangle AZ_1Z = \sphericalangle Z_1AZ = Rp_1$, iar distanța d_2 la A în momentul celui de al doilea relevment este egală cu distanța m parcursă de navă între observații.

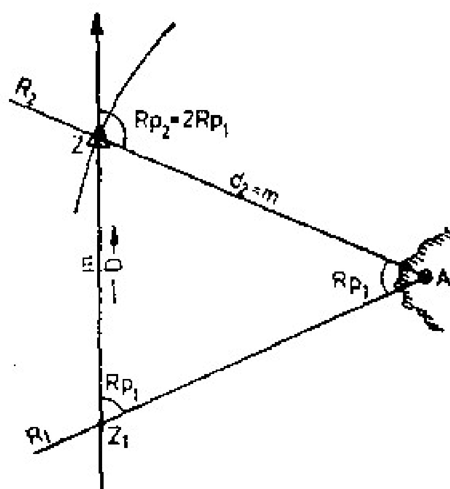


Fig. 11-13

Rezultă că poziția navei se determină prin intersecția relevmentului al doilea la obiect cu cercul de distanță $d = m$, reprezentată de spațiul parcurs de navă între observații, având centrul în A.

2 Procedeul distanței la travers

În cazul în care obiectul A este relevat succesiv în Rp_1 și apoi în $Rp_2 = 90°$ (când reperul observat se află la travers), m fiind distanța parcursă de navă în intervalul de timp dintre observații, distanța la travers la A se determină din triunghiul dreptunghic AZZ_1 (fig. 11-14):

$$d\perp = m \ \text{tg}\ Rp_1$$

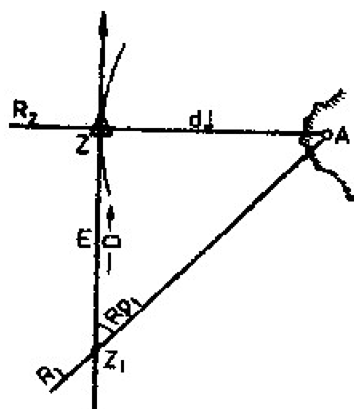


Fig. 11-14

În practica navigației, se aleg valori ale relevmentului prova din momentul primei observații astfel ca valoarea tangentei trigonometrice a acestuia să permită

stabilirea unor relații ușor de memorat pentru determinarea distanței la travers; mărimile Rp_1 folosite frecvent în navigație sunt:

$-Rp_1 = 11°1/4$	tg 11°1/4 = 0.20	$Rp_2 = 90°$	d⊥ = m : 5
$-Rp_1 = 18°.5$	tg 18°.5 = 0.33	$Rp_2 = 90°$	d⊥ = m : 3
$-Rp_1 = 26°.5$	tg 26°.5 = 0.5	$Rp_2 = 90°$	d⊥ = m : 2
$-Rp_1 = 45°$	tg 45° = 1	$Rp_2 = 90°$	d⊥ = m
$-Rp_1 = 63°.5$	tg 63°.5 = 2	$Rp_2 = 90°$	d⊥ = 2 m
$-Rp_1 = 71°.5$	tg 71°.5 = 3	$Rp_2 = 90°$	d⊥ = 3 m
$-Rp_1 = 76°$	tg 76° = 4	$Rp_2 = 90°$	d⊥ = 4 m

Distanța m se determină din diferența citirilor la loch, efectuate în momentul primei observații și când reperul se vede la travers.

Poziția navei se determină prin intersecția dreptei de relevment pentru momentul când reperul se vede la travers, cu cercul distanței la travers $d\perp$, având centrul în obiectul observat A.

3 Procedeul distanței la travers determinată din spațiul parcurs de navă între anumite relevmente prova

Considerăm nava în drumul D, pozițiile ei succesive Z_1 și Z_2, din care obiectul A este relevat în Rp_1 și Rp_2, precum și punctul navei Z, când reperul se vede la travers (fig. 11-15); distanța la travers $d\perp$ se obține astfel:

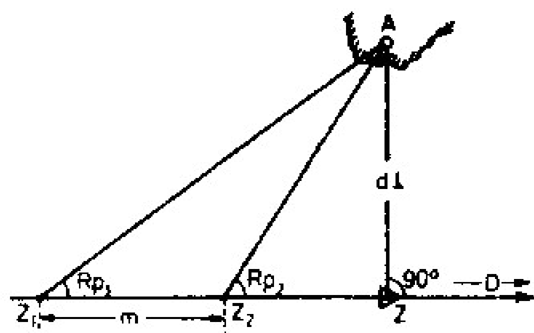


Fig. 11-15

$$\overline{Z_1Z} = d\perp.\ \text{cotg}\ Rp_1 \ \text{și}\ \overline{Z_2Z} = d\perp.\ \text{cotg}\ Rp_2$$

de unde:

$$\overline{Z_1Z} - \overline{Z_2Z} = d\perp\ (\text{cotg}\ Rp_1 - \text{cotg}\ Rp_2)$$

Însă $\overline{Z_1Z} - \overline{Z_2Z} = Z_1Z_2 = m$:

$$m = d\perp\ (\text{cotg}\ Rp_1 - \text{cotg}\ Rp_2)$$

deci:

$$d\perp = \frac{m}{\text{cotg}\ Rp_1 - \text{cotg}\ Rp_2} \qquad (11\text{-}4)$$

Formula (11-4) oferă posibilitatea determinării distanţei la travers din distanţa *m* parcursă de navă între cele două relevmente prova succesive Rp_1 şi Rp_2.

Ca şi în cazul procedeului precedent, în practică navigaţiei se utilizează o serie de relevmente prova succesive astfel ca diferenţa cotg Rp_1 – cotg Rp_2 să rezulte egală cu 0.5, de unde:

$$d\perp = \frac{m}{0.5} = 2m$$

care arată că *distanţa la travers este egală cu dublul distanţei m parcursă de navă între relevmentele succesive.*

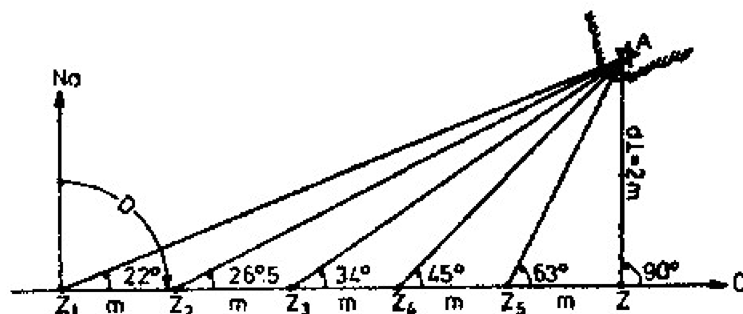


Fig. 11-16

Relaţia (11-5) este satisfăcută de relevmentele prova succesive din seria Traub* (fig. 11-6), deoarece diferenţa cotangentelor a două unghiuri consecutive din serie este egală cu 0.5, astfel:

Nr.de ordine	Rp	cotg Rp
Rp_1	22	2.5
Rp_2	26°.5	2.0
Rp_3	34°	1.5
Rp_4	45°	1.0
Rp_5	63°	0.5
Rp_6	90°	0.0

Din cele arătate mai sus se observă că $d\perp = 2\,m$, când:

$Rp_1 = 22°$ şi $Rp_2 = 26°.5$
$Rp_1 = 26°.5$ şi $Rp_2 = 34°$
$Rp_1 = 34°$ şi $Rp_2 = 45°$
$Rp_1 = 45°$ şi $Rp_2 = 63°$
$Rp_1 = 63°$ şi $Rp_2 = 90°$

* Ofiţer al marinei franceze, care a prezentat avantajele folosirii acestei serii de relevmente prova.

iar $d\perp = m$, când:

$Rp_1 = 22°$	și	$Rp_2 = 34°$
$Rp_1 = 26°.5$	și	$Rp_2 = 45°$
$Rp_1 = 34°$	și	$Rp_2 = 63°$
$Rp_1 = 45°$	și	$Rp_2 = 90°$

Această serie de relevmente prezintă o dublă utilitate: indică distanța la travers la reperul de navigație observat și distanța pe care nava o mai are de parcurs din momentul celui de –al doilea relevment până când obiectul va fi văzut la travers. Privind figura 11-16, se observă că această ultimă distanță este egală cu numărul de intervale dintre relevmentele prova din serie rămase de parcurs, începând cu ultimul *Rp* observat, înmulțit cu distanța *m* parcursă de navă între două relevmente consecutive. Astfel, de exemplu, dacă între relevmentele prova succesive din serie 26°.5 și 34° s-a parcurs distanța de 2Mm, rezultă că:

– $d\perp = 4$ *Mm*;

– din momentul observării reperului în *Rp* = 34° până când acesta va fi văzut la travers, nava mai are de parcurs distanța de 6 Mm (= 3 intervale dintre *Rp* succesive ale seriei, rămase de parcurs, înmulțite cu 2 Mm).

Determinarea poziției navei pe hartă se rezumă deci la trasarea dreptei de relevment pentru momentul când reperul se vede la travers (reprezentată prin normala coborâtă din reper pe drumul navei) și intersectarea acesteia cu cercul de distanță de rază $d\perp$, având centrul în reperul *A*.

4 Indicații practice pentru măsurarea relevmentelor succesive

În toate cazurile particulare analizate mai sus, punctul navei se determină cu ajutorul unor relevmente prova semicirculare, presupunând că nava este guvernată într-un drum compas constant, corespunzător drumului adevărat trasat pe hartă. În practica navigației, nava are însă anumite abateri de la drumul compas, cauzate de condițiile hidrometeorologice, instabilitatea la drum a navei etc. care duc la erori în măsurarea relevmentelor prova la un cerc azimutal.

Pentru eliminarea acestor erori, se procedează astfel:

– se calculează relevmentul compas corespunzător relevmentului prova smicircular, în care reperul trebuie relevat, funcție de drumul navei, din relația:

$$Rg = Dg \pm Rp\frac{Td}{Bd}$$

$$Rc = Dc \pm Rp\ \frac{Td}{Bd};$$

– se urmărește variația relevmentului la obiect și în momentul când reperul se vede în relevmentul compas asfel calculat, se citește lochul (pentru determinarea distanței *m* dintre observații).

§6 Folosirea relevmentelor prova succesive din seria Traub pentru determinarea unghiului de derivă

Determinarea unghiului de derivă , în condiții în care se află în vedere un singur reper și singurele observații ce se pot executa sunt relevmentele, constituie o problemă de mare importanță în practica navigației costiere.

Pentru elucidarea procedeului, considerăm că nava merge în drumul Z_1C (fig. 11-17), cu o viteză uniformă și că în punctele Z_1, Z_2, ... Z, se măsoară relevmentele prova succesive din seria lui Traub: $Rp_1 = 22°$, $Rp_2 = 26°.5$, ..., $Rp_6 = 90°$; în aceste condiții, dacă nava nu este derivată de vânt sau curent, spațiile Z_1Z_2, Z_2Z_3, ..., Z_5Z sunt egale și deci parcurse în intervale de timp *t* egale.

Dacă nava este supusă unei acțiuni constante de derivă, de exemplu, a unui curent constant spre coastă, axa longitudinală a navei se menține paralelă cu direcția Z_1C (determinată de drumul prin apă *D*), iar nava se deplasează pe o direcție Z_1C' (corespunzătoare drumului deasupra fundului *D'f*), unghiul de derivă fiind β'. În acest caz, relevmentele prova succesive Rp_1, Rp_2, Rp_3, etc. sunt observate în punctele Z_1, Z_2', Z_3' ..., iar spațiile determinte de interesecția acestora cu drumul deasupra fundului Z_1C' descresc succesiv, aflându-se în relația: $Z_1Z_2'>Z_2'Z_3'>Z_3'Z_4'$ etc.

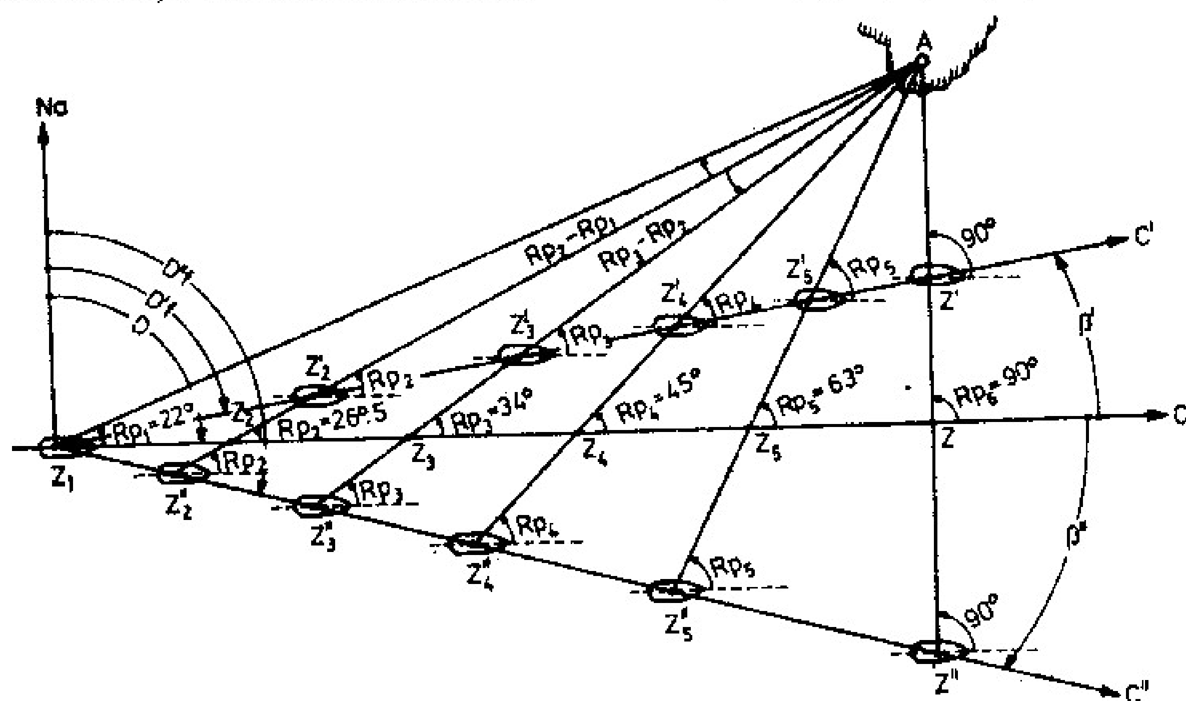


Fig. 11-17

Presupunând că nava menține un număr constant de rotații ale elicii și curentul are o viteză uniformă, intervalele de timp t_1', t_2', t_3', ... în care se parcurg spațiile Z_1Z_2', $Z_2'Z_3'$, $Z_3'Z_4'$ .. descresc și ele în mod corespunzător, deci: $t_1' > t_2' > t_3'$, ...

În condițiile unui curent constant spre larg, nava se deplasează pe un drum deasupra fundului Z_1C''' (corespunzător lui D''f), cu un unghi de derivă β'', axa

longitudinală a navei menținându-se paralelă cu Z_1C. Relevmentele prova succesive Rp_1, Rp_2, Rp_3, ... se observă în punctele Z_1, Z_2'', Z_3''... Spațiile Z_1Z_2'', $Z_2''Z_3''$, $Z_3''Z_4''$, ... cresc succesiv, deci: $Z_1Z_2'' < Z_2''Z_3'' < Z_3''Z_4''$, ...; intervalele de timp t_1'', t_2'', t_3'', ... în care se parcurg aceste spații, cresc în mod corespunzător, fiind în relația: $t_1'' < t_2'' < t_3''$...

Rezultă că, din comparația intervalelor de timp consecutive, scurse între măsurarea relevmentelor prova succesive din seria lui Traub la un singur obiect, se pot trage următoarele concluzii:

– dacă intervalele de timp sunt constante, nava se menține la drum; poate să existe un curent de o direcție paralelă cu dumul navei, cu efect doar asupra distanței deasupra fundului și fără influență asupra drumului;

– când intervalele de timp descresc, nava este derivată spre coastă (spre reper);

– în cazul în care intervalele de timp cresc, nava este derivată spre larg.

Aceste constatări se pot face și dacă relevmentele prova succesive se măsoară la un obiect fix oarecare (stâncă la suprafața apei, navă la ancoră etc.), de poziție necunoscută, fără însă a fi posibilă determinarea punctului navei.

Pentru stabilirea relației de determinare a unghiului de derivă, considerăm că nava este derivată spre coastă, drumul deasupra fundului fiind Z_1C'. În triunghiurile AZ_1Z_2' (în care $\sphericalangle AZ_1Z_2' = Rp_1 - \beta'$ și $\sphericalangle Z_1AZ_2' = Rp_2 - Rp_1$) și $AZ_2'Z_3'$ în care $\sphericalangle AZ_2'Z_3' = Rp_2 - \beta'$și $\sphericalangle AZ_3'Z_2' = 180° - (Rp_3 - \beta')]$, se poate scrie:

$$\frac{AZ_2'}{\sin(Rp_1-\beta')}=\frac{Z_1Z_2'}{\sin(Rp_2-Rp_1)} \text{ și } \frac{AZ_2'}{\sin(Rp_3-\beta')}=\frac{Z_2'Z_3'}{\sin(Rp_3-Rp_2)}$$

de unde:

$$AZ_2' = Z_1Z_2'\frac{\sin(Rp_1-\beta')}{\sin(Rp_2-Rp_1} \text{ și } AZ_2' = Z_2'Z_3'\frac{\sin(Rp_3-\beta')}{\sin(Rp_3-Rp_2)}$$

deci:

$$Z_1Z_2' = \frac{\sin(Rp_1-\beta')}{\sin(Rp_2-Rp_1)} = Z_2'Z_3\frac{\sin(Rp_3-\beta')}{\sin(Rp_3-Rp_2)}$$

Dacă spațiile Z_1Z_2', $Z_2'Z_3'$sunt parcurse de navă cu o viteză uniformă, raportul lor este egal cu raportul dintre intervalele de timp t_1' și t_2' necesare pentru parcurgerea acestora, deci:

$$\frac{Z_2'Z_3'}{Z_1Z_2'}=\frac{\sin(Rp_1-\beta')}{\sin(Rp_2-Rp_1}\cdot\frac{\sin(Rp_3-Rp_2}{\sin(Rp_3-\beta')}=\frac{t_2'}{t_1'}$$

respectiv:

$$\frac{\sin Rp_1\cos\beta' - \cos Rp_1 \sin\beta'}{\sin Rp_2 \cos Rp_1 - \cos Rp_2 \sin Rp_1}\cdot\frac{\sin Rp_3 \cos Rp_2 - \cos Rp_3 \sin Rp_2}{\sin Rp_3 \cos\beta' - \cos Rp_2 \sin\beta'}=\frac{t_2'}{t_1'}$$

în care, împărțind atât numărătorul cât și numitorul primului membru prin sin Rp_1 sin Rp_2 sin Rp_1 sin β' și simplificând, se obține:

$$\frac{\text{cotg}\beta' - \text{cotg}Rp_1}{\text{cotg}Rp_1 - \text{cotg}Rp_2} \cdot \frac{\text{cotg}Rp_2 - \text{cotg}Rp_3}{\text{cotg}\beta' - \text{cotg}Rp3} = \frac{t_2'}{t_1'}$$

Și deoarece pentru relevmentele prova succesive din seria lui Traub: ctg Rp_1 – cotg Rp_2 = cotg Rp_2 – cotg Rp_3 = ..., ultima expresie devine:

$$\frac{\cot g\beta' - \text{cotg}Rp_1}{\text{cotg}b' - \text{cotg}Rp_3} = \frac{t_2'}{t_1'}$$

în care, folosind una din proprietățile proporțiilor:

$$\frac{\text{cotg}\beta' - \text{cotg}Rp_1 - (\text{cotg}\beta' - \text{cotg}Rp_3)}{\text{cotg}\beta' - \cot gRp_3} = \frac{t_2' - t_1'}{t_1'},$$

de unde:

$$\frac{\text{cotg}Rp_3 - \text{cotg}Rp_1}{\cot g\beta' - \cot gRp_3} = \frac{t_2' - t_1'}{t_1'}$$

Însă, în cazul relevmentelor prova succesive din seria lui Traub:

cotg Rp_3 – cot g Rp_1 = –1, deci:

$$\frac{-1}{\cot g\beta' - \cot gRp_3} = \frac{t_2' - t_1'}{t_1'}$$

sau:

$$\text{cotg}\beta' - \text{cotg}Rp_3 = \frac{t_1'}{t_1' - t_2'}$$

de unde:

$$\text{cotg}\beta' = \frac{t_1'}{t_1' - t_2'} + \text{cotg}Rp_3 \qquad (11\text{-}5)$$

Formula (11-5) este folosită în navigația costieră pentru calculul unghiului de derivă, când nava este derivată spre coastă (intervalele de timp t' descresc).

Când nava este derivată spre larg (intervalele de timp t'' cresc), unghiul de derivă β'' se calculează din relația:

$$\text{cotg}\beta'' = \frac{t_1''}{t_2'' - t_1''} - \text{cotg}Rp_3 \qquad (11\text{-}6)$$

care se obține printr-un procedeu deductiv analog celui de mai sus.

Exemplu: La un far se măsoară următoarele relevmente prova succesive:

- ora 06.00 ... $Rp_1 = 26°.5$
- ora 06.16 ... $Rp_2 = 34°$
- ora 06.30 ... $Rp_3 = 45°$

Se cere să se determine unghiul de derivă.

Rezolvare:

– se calculează intervalele de timp dintre observații:

$$t_1 = 6^h16^m - 6^h00^m = 16^m$$
$$t_2 = 6^h30^m - 6^h16^m = 14^m$$

Se observă că intervalele de timp dintre observații scad, deci nava este derivată spre coastă (spre far);

– se determină unghiul de derivă β' (formula 11-5):

$$\text{cotg}\beta' = \frac{16^m}{16^m - 14^m} + \text{cotg}45^\circ = 8 + 1.00 = 9.00$$

$$\beta' = 6^\circ.3$$

Observație:

Pentru determinarea unghiului de derivă sunt necesare trei observații succesive oarecare din seria lui Traub; cel de-al treilea relevment prova observat intră ca Rp_3 în formula (11-5) sau (11-6).

Având în vedere precizia necesară calculului, valoarea naturală a cotg Rp_3 se scoate la precizie de 0.01.

12 DETERMINAREA PUNCTULUI NAVEI CU UNGHIURI ORIZONTALE

§1 Considerații asupra procedeului. Măsurarea unghiurilor orizontale

Procedeul analizat în acest capitol rezolvă problema determinării punctului navei prin intersecția a două arce de cerc capabile de unghiurile orizontale măsurate la trei repere de navigație (vezi cap. 10, § 3, pct. 2).

În condiții normale procedeul unghiurilor orizontale este considerat ca cel mai precis procedeu de determinare a poziției navei oferit de sistemul de navigație costieră.

Obișnuit, punctul navei se determină cu două unghiuri orizontale măsurate la trei obiecte. Unghiurile orizontale se măsoară de regulă cu sextantul; în anumite condiții de observație, acestea se determină din diferența relevmentelor compas la cele trei obiecte. Deoarece intersecția a două arce capabile de unghiurile orizontale observate nu oferă posibilitatea controlului preciziei poziției navei, atunci când se află în vedere un al patrulea reper, se recomandă ca să se măsoare trei unghiuri orizontale; felul în care se intersectează cele trei arce capabile poate da indicii asupra preciziei observațiilor, a trasării liniilor de poziție, precum și a preciziei cu care reperele observate sunt trecute pe hartă.

Așa cum s-a arătat în capitolul 11, § 2, punctul 2, când relevmentele compas la trei obiecte sunt afectate de o eroare sistematică, acestea sunt transformate în unghiuri orizontale (prin diferența relevmentelor) și folosite apoi pentru determinarea poziția navei.

La navele cu viteză mare, când reperele observate sunt la distanță mică de navă și situația impune o determinare precisă a poziției, se recomandă ca cele două unghiuri orizontale să fie măsurate cu sextantul, simultan, de către doi observatori. În acest caz, unghiurile se citesc la precizie de $0'.1$, care se corectează funcție de *eroarea indicelui* sextantului, iar poziția navei se determină cu ajutorul *stațiografului* (vezi §2).

La bordul navelor comerciale, în condiții normale de navigație, măsurarea unghiurilor orizontale se face de către un singur observator, repede, unul după altul, astfel ca spațiul parcurs de navă între observații să poată fi considerat practic neglijabil. În caz de nesimultaneitate a observațiilor, se procedează la transportul primei linii de poziție, în modul indicat mai jos la § 2, punctul 5.

Unghiurile orizontale se determină din diferenţa relevmentelor, când condiţiile de observaţie nu permit folosirea sextantului (pe timpul nopţii la farurile cu semnale luminoase de scurtă durată şi, în general, în condiţii dificile de observaţie) şi când obiectele observate se găsesc la înălţimi sensibil diferite. Precizia unghiurilor orizontale determinate din diferenţa relevmentelor este inferioară celei asigurată prin utilizarea sextantului.

Considerând că unghiurile orizontale se măsoară cu sextantul, acest procedeu prezintă anumite avantaje în comparaţie cu procedeele dreptelor de relevment:

– poziţia navei se poate determina cu o mai mare exactitate ca urmare a preciziei pe care sextantul o oferă în măsurarea unghiurilor;

– este independent de compas, deci de erorile proprii acestui instrument, care se transmit observaţiilor;

– observatorul îşi poate alege locul oriunde pe navă, astfel ca cele două obiecte la care se măsoară unghiul orizontal să poată fi văzute deodată.

Când unghiurile orizontale sunt determinate din diferenţa relevmentelor compas la cele trei obiecte observate, liniile de poziţie obţinute sunt independente de eroarea sistematică a compasului (vezi cap. 10, § 4, pct. 2).

Procedeul determinării poziţiei navei cu unghiuri orizontale prezintă şi o serie de dezavantaje, între care menţionăm:

– durează mai mult decât procedeele care folosesc dreptele de relevment;

– deşi sunt necesare trei repere de navigaţie, nu se obţin decât două linii de poziţie. Intersecţia a două linii de poziţie nu oferă posibilitatea verificării preciziei acestora şi deci a punctului navei astfel determinat. De aceea, când se navigă în zone în care sunt de temut erori în trecerea pe hartă a anumitor repere de navigaţie, se recomandă folosirea procedeului determinării punctului cu trei relevmente; în cazul obţinerii unui triunghi al erorilor, prin intersecţia celor trei relevmete, se poate identifica natura erorii.

În condiţii în care în vedere se află trei repere de navigaţie, trecute cu precizie pe hartă şi situate cu aproximaţieîn acelaşi plan orizontal, iar situaţia impune o determinare a poziţiei navei, se recomandă ca procedeul unghiurilor orizontale să fie utilizate cu prioritate.

§2 Procedee pentru determinarea punctului navei cu două unghiuri orizontale

Considerăm că avem în vedere trei obiecte: A, în stânga, B, la mijloc şi C, în dreapta; se măsoară unghiurile orizontale: α, între $A-B$ şi β, între $B-C$. Pentru determinarea punctului navei cu cele două unghiuri orizontale, în practica navigaţiei costiere se folosesc mai multe procedee, între care vom menţiona pe cele frecvent folosite.

1 Procedeul arcelor de cerc capabile de α şi β (fig. 12-1)

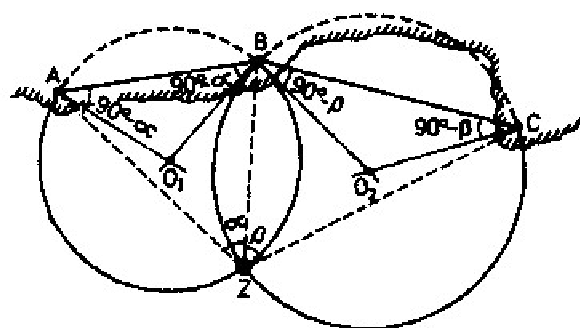


Fig. 12-1

Presupunând că observaţiile sunt simultane, punctul navei se obţine prin trasarea arcelor de cerc capabile de α şi β, care se construiesc pe hartă în modul indicat la capitolul 10, § 3, punctul 2. La intersecţia celor două arce de cerc capabile de α şi β se află punctul observat al navei *Z*.

2 Procedeul segmentelor

Poziţia navei, din cele două unghiuri orizontale α şi β, mai poate fi obţinută şi cu ajutorul următoarei construcţii geometrice:

– din punctul central *B*, se trasează dreptele *BF* şi *BG*, care formează cu *AB* şi *BC* unghiurile 90° – α şi respectiv 90° – β;

– din *A* şi *C* se ridică perpendicularele *AH* şi *CL*, pe *AB* şi respectiv *CB*. Acestea intereseazā dreptele *BF* şi *BG* în *M* şi respectiv, *P*;

– se unesc intersecţiile *M* şi *P*. Piciorul perpendicularei Z coborâtă din *B* pe drepata *MP* reprezintă punctul observat al navei Z..

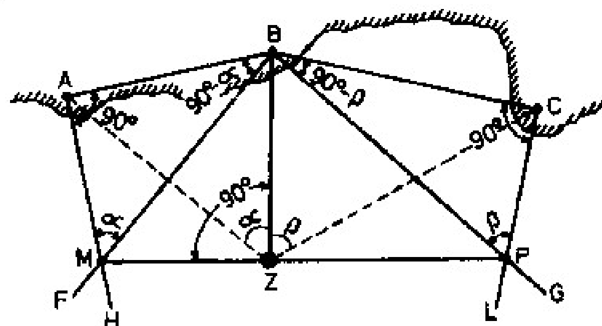


Fig. 12-2

Explicaţia acestei construcţii geometrice este foarte simplă. Figura 12-2 arată că punctul M se află pe arcul de cerc capabil de α, deoarece ∢ *AMB* = α, iar punctul *P* – pe arcul de cerc capabil de β, deoarece ∢ *BPC* = β.

Segmentele BM şi BP reprezintă deci diametrele arcelor de cerc capabile de α şi β.

Punctul Z se află la intersecţia celor două arce de cerc capabile de α şi β: *Z* se află pe arcul de cerc capabil de α, deoarece ∢ *BZM* = 90° subîntinde între laturile sale diametrul *BP*.

3 Cu staţiograful

În practica navigaţiei costiere, procedeele geometrice sunt înlocuite adesea printr-un procedeu mecanic simplu şi expeditiv, bazat pe folosirea *staţiografului* (*station pointer*). Acesta (fig. 12-3) constă dintr-un cerc gradat în sistem semicircular (0°-180°) şi trei braţe: braţul fix *OB*, a cărui margine subţiată pleacă din centrul cercului 0 şi trece prin gradaţia zero a cercului; braţul mobil din stânga *OA* şi braţul mobil din dreapta *OC*.

Pentru determinarea poziţiei navei se procedează astfel:

– se deschide şi se fixează braţul mobil din stânga *OA*, de un unghi egal cu α faţă de braţul fix OB (având ca linie de referinţă marginea sa subţiată, ce trece prin gradaţia zero);

– se deschide şi se fixează braţul mobil din dreapta *OC* de un unghi egal cu β;

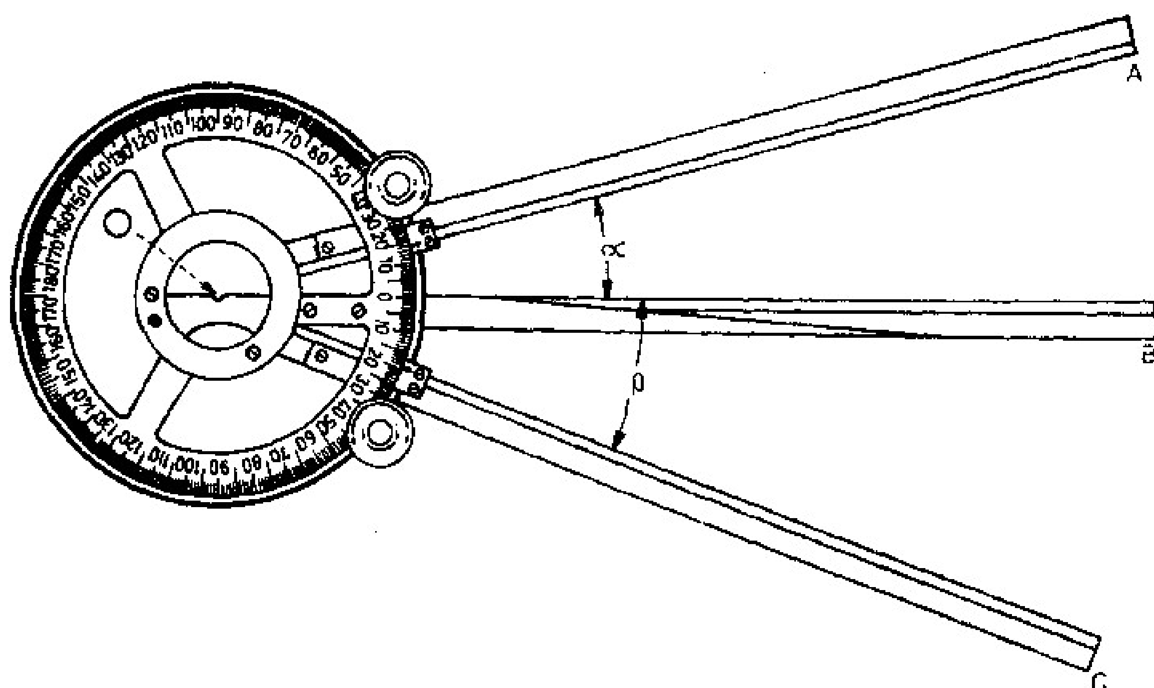


Fig. 12-3

– se aşază staţiograful pe hartă cu braţul fix (marginea sa subţiată) pe obiectul *B* şi se tatonează apoi până când şi celelalte două braţe sunt aduse în coincidenţă cu reperele *A* şi *C*. În această poziţie, centrul staţiografului *O*, care se marchează cu vârful creionului pe hartă, reprezintă punctul observat al navei, de unde cele trei repere se văd sub unghiurile α şi β.

La bordul navelor maritime se utilizează tipuri diferite de staţiografe, de care depinde şi precizia procedeului. Se folosesc frecvent staţiografe gradate la precizie de 0°.5, la care braţele se pot orienta – prin estimare, la valori ale lui α şi β la precizie de 0°.1. Se întrebuinţează însă staţiografe la care aranjarea "fină" a orientării braţelor mobile se poate realiza la precizie de 0'.1, cu ajutorul a câte unui vernier prevăzut la fiecare braţ mobil; asemenea staţiografe oferă posibilitatea determinării punctului navei cu cea mai mare precizie, faţă de toate procedeele menţionate.

4 Cu ajutorul hârtiei de calc (fig. 12-4)

În lipsa unui staţiograf la bord se poate folosi o foaie de hârtie de calc, astfel: se trasează pe hârtia de calc cele două unghiuri orizontale α şi β, având vârfurile în O, o latură comună OB (materializând direcţia obiectului central), laturile OA şi OC (pe direcţia reperelor laterale); în mod similar mânuirii staţiografului, se aduc în coincidenţă cele trei laturi ale unghiurilor α şi β cu reperele A, B, C; vârful comun O al unghiurilor reprezintă punctul observat al navei, care se însemnă cu creionul pe hartă.

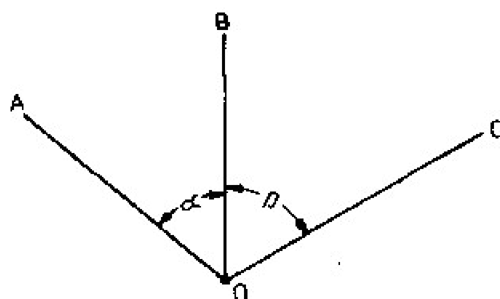


Fig. 12-4

Utilizarea ultimelor două procedee, cu staţiograful şi hârtia de calc, permite o mai bună conservare a hărţilor.

5 Rezolvarea problemei în cazul unghiurilor orizontale succesive

În cazul în care unghiurile orizontale α şi β sunt măsurate cu sextantul de un singur observator şi spaţiul parcurs de navă între observaţii face ca acestea să fie considerate succesive, punctul navei se determină astfel (fig. 12-5):

– se construieşte arcul de cerc capabil de β (a doua observaţie), cu centrul în O_2;
– se determină centrul O_1 al arcului de cerc capabil de α, care se transportă în O_1', în funcţie de drumul navei D şi de spaţiul m parcurs de navă în intervalul de

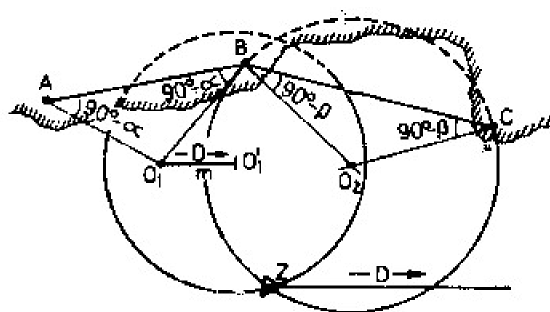


Fig. 12-5

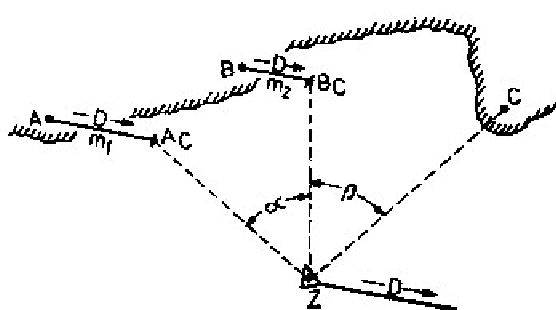


Fig. 12-6

timp dintre observaţii. Se trasează arcul de cerc capabil de α transportat pentru momentul observaţiei a doua (vezi cap. 10, § 5, pct. 2), cu centrul în O_1'şi raza $O_lA = O_lB$.

La intersecţia acestuia cu arcul de cerc capabil de β, se obţine punctul observat-estimat al navei Z pentru momentul ultimei observaţii.

Când unghiurile orizontale α și β se obțin din diferența relevmentelor ($\alpha = R_B - R_A$ și $\beta = R_C - R_B$) și punctul navei se determină cu ajutorul stațiografului, în caz de nesimultaneitate a observațiilor se procedează astfel (fig. 12-6):

– se transportă reperul *A* în A_C, în funcție de drumul navei *D* și spațiul $m_1 = V(t_C - t_A)$ parcurs de navă, unde: t_C = momentul relevării reperului *C* și t_A = momentul relevării obiectului *A*;

– se transportă reperul *B* în B_C, în funcție de drumul navei *D* și spațiul $m_2 = V(t_C - t_B)$ parcurs de navă, unde t_B = momentul relevării reperului *B*;

– se determină punctul navei *Z* pentru momentul relevării reperului *C*, funcție de unghiurile orizontale α și β, făcând ca brațele stațiografului să fie aduse în coincidență cu punctele A_C, B_C și *C*.

§ 3 Cazul de nedeterminare. Cazuri favorabile

1 Cazul intersecției optime a arcelor capabile

Punctul navei cu două unghiuri orizontale se obține printr-o intersecție optimă a liniilor de poziție, atunci când arcele de cerc capabile de α și β se taie sub un unghi de 90° (fig. 12-7). Într-un asemenea caz, tangentele *BF* și *BG* la cele două cercuri în punctul de intersecție *B* sunt reciproc perpendiculare; tangenta la un cerc este raza celuilalt și invers, astfel: dreapta *BF*, tangenta arcului de cerc capabil de β trece prin

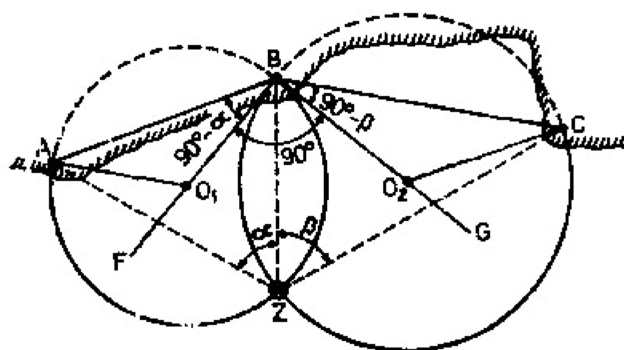


Fig. 12-7

centrul O_1, formând cu segmentul *AB* unghiul $ABF = 90° - \alpha$; dreapta *BG*, tangenta arcului de cerc capabil de α, trece prin centrul O_2 și formează cu segmentul *BC* unghiul $CBG = 90° - \beta$. Rezultă, astfel:

$$\sphericalangle ABC = 90° - \alpha + 90° + 90° - \beta$$

de unde:

$$\sphericalangle ABC + \alpha + \beta = 270° \qquad (12\text{-}1)$$

În concluzie, arcele capabile de α și β cu unghiul dintre direcțiile determinate de cele trei obiecte, având vârful în reperul din centru (*B*), este egală cu 270°.

2 Cazul de nedeterminare

Când obiectele *A, B, C* sunt observate dintr-o poziție *Z* (fig. 12-8), astfel că:

$$\sphericalangle ABC + \alpha + \beta = 180° \qquad (12\text{-}2)$$

ne aflăm în *cazul de nedeterminare* a poziției navei cu două unghiuri orizontale; în acest caz, arcele de cerc capabile de α și β trasate prin reperele *A*, *B* și, respectiv, *B*, *C*, se suprapun.

În orice poziție Z, Z_1 etc. de pe arcul de cerc AZZ_1C s-ar afla nava, unghiurile α și β măsurate la obiectele *A, B* și, respectiv, *B, C* s-ar menține aceleași.

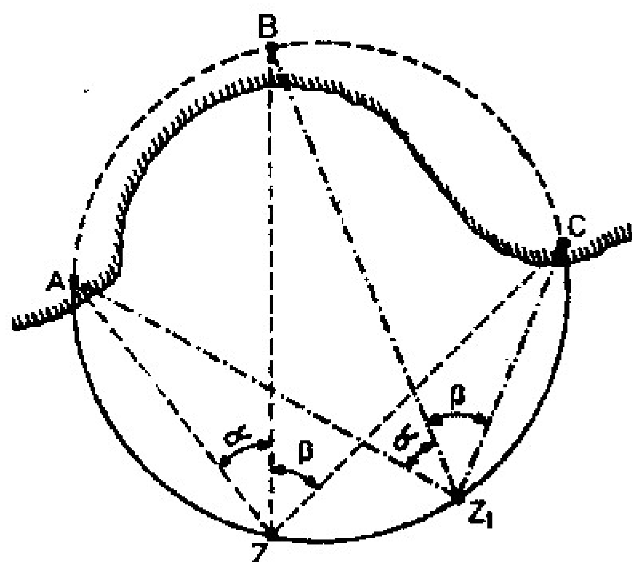


Fig. 12-8

În practica navigației costiere acest caz poate fi identificat astfel: se măsoară unghiul $AZC = \alpha + \beta$; se scoate din hartă $\sphericalangle ABC$; dacă suma acestor două unghiuri este egală cu 180° sau, practic, aproape de această valoare, poziția navei se află în cazul de nedeterminare.

3 Cazuri favorabile

În scopul evitării cazului de nedeterminare, la alegerea reperelor pentru măsurarea unghiurilor orizontale, se recomandă a se avea în vedere următoarele criterii, capabile să sprijine pe observator la identificarea cazurilor favorabile (fig. 12-9):

– reperele *A, B, C,* să fie dispuse pe aceeași dreaptă sau aproape pe aceeași dreaptă (fig. 12-9 *a*);

– reperul central *B* să fie mai aproape de navă decât celelalte două (fig. 12-9) b);

– cele trei repere să fie la aceeași distanță sau aproape la aceeași distanță de navă (fig. 12-9 *c*). În acest caz nava se află în centrul cercului determinate de obiectele *A, B, C*;

– nava se află în interiorul triunghiului format de reperele *A, B, C* (fig. 12-9 *d*);

– nava se află în aliniamentul sau aproape în aliniamentul a două repere (fig. 12-9 *e*). Dacă aliniamentul celor două obiecte (*A, B*) este suficient de sensibil, se oferă un caz deosebit de favorabil pentru determinarea poziției navei.

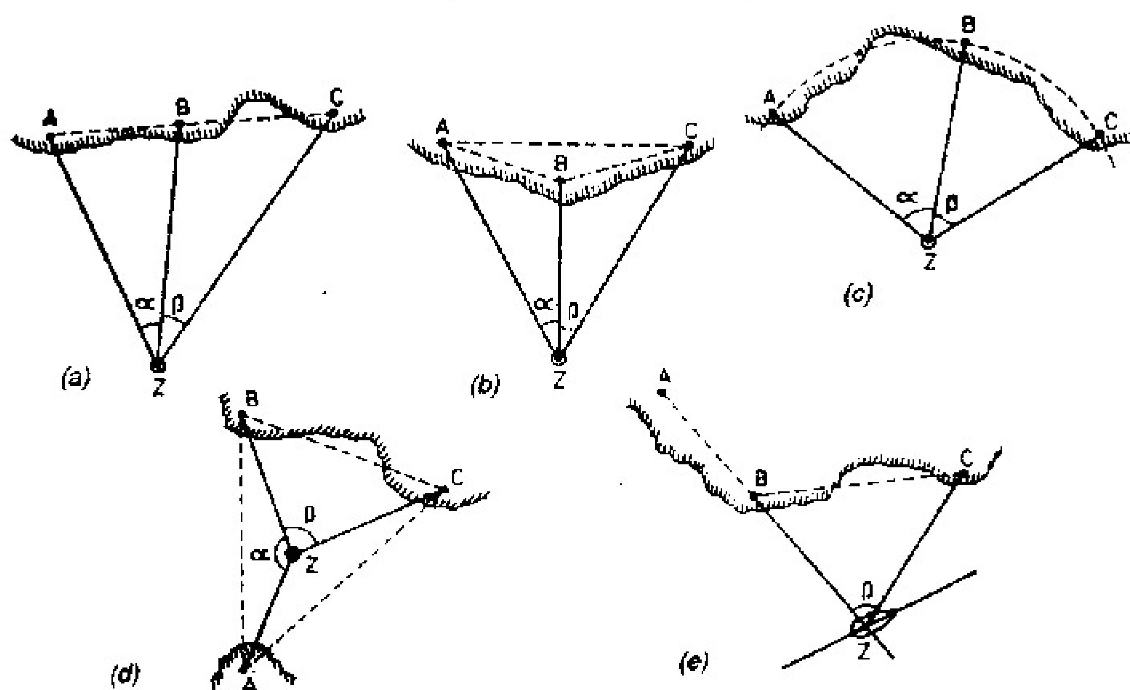


Fig. 12-9

Când navigatorul are în vedere mai multe repere, dintre care trebuie să selecționeze trei pentru măsurarea unghiurilor orizontale, aplicarea criteriilor enunțate mai sus, *pe bază de observație*, conduce la alegerea celor favorabile cazurilor de determinare a poziției navei.

§4 Indicații practice pentru determinarea poziției navei cu unghiuri orizontale

Procedeul unghiurilor orizontale* se aplică în situații în care se impune determinarea poziției navei cu mare precizie, atunci când sunt vizibile trei repere de navigație, aflate cu aproximație în același plan orizontal și trecute cu precizie pe

* Acest procedeu de determinare a poziției navei este cunoscut și sub denumirea de procedeul *Pothenot*, după numele matematicianului francez care l-a publicat în anul 1662.

hartă. În măsura în care aceste condiții sunt satisfăcute, procedeul se folosește în navigația prin zone periculoase, la determinarea punctului navei după ancorare și controlul ulterior al menținerii ancorajului, la stabilirea poziției pentru determinarea deviațiilor copasului magnetic cu un obiect de azimut cunoscut și, în general, când se impune o determinare precisă a punctului navei; în toate situațiile acestea, problema se impune a se rezolva pe hărți la scară mare.

De asemenea, procedeul unghiurilor orizontale se mai aplică atunci când corecția compasului nu este cunoscută cu suficientă precizie; deoarece procedeul este independent de compas (când unghiurile orizontale se măsoară cu sextantul) sau independent de eroarea sistematică a compasului (când unghiurile orizontale se determină din diferența relevmentelor compas), punctul obținut se folosește și pentru determinarea corecției compasului magnetic sau giroscopic (vezi cap. 25).

Când unghiurile orizontale se măsoară cu sextantul de către doi observatori, simultan, se recomandă folosirea următorului procedeu: observatorul care realizează primul coincidența imaginilor obiectelor la sextant anunță "atențiune!" și continuă să o mențină; cel de-al doilea observator anunță "stop!" în clipa în care obține coincidența la perechea de repere pe care o observă, semnal ce constituie momentul măsurării unghiurilor orizontale pentru ambii observatori; la "stop!" se citesc ora bordului și lochul.

Dacă unghiurile orizontale la cele trei obiecte sunt măsurate cu sextantul de un singur observator, se impune ca observațile să fie executate repede, una după alta, așa încât spațiul parcurs de navă între observații să poată fi considerat practic neglijabil. Pentru aceasta se recomandă practicarea următorului sistem de lucru: se măsoară cu aproximație și se notează unghiul orizontal la perechea de repere (de exemplu, *B*,*C*), care prezintă condiții de observație mai favorabile; se măsoară unghiul orizontal la a a doua pereche de obiecte (*A*, *B*), după care imediat se reglează sextantul pentru unghiul inițial citit și se face coincidența pentru citirea unghiului orizontal la prima pereche de repere (*B*, *C*);în momentul ultimei observații se citesc ora bordului și lochul.

Când există două sextante la bord, ceea ce constituie o situație normală la navele comerciale, același sistem se poate practica cu mai mult succes – dacă observatorul folosește cele două instrumente, în succesiunea indicată.

Procedeul unghiurilor orizontale la trei obiecte nu se recomandă, când harta zonei nu prezintă garanția preciziei poziției reperelor sau dacă acestea sunt situate la înălțimi sensibil diferite; într-o asemenea situație este de preferat folosirea procedeului determinării punctului cu trei relevmente.

Pentru verificarea preciziei punctului determinat cu două unghiuri orizontale, se poate adopta una din soluțiile:

– se determină trei sau mai multe puncte consecutive, cu cele două unghiuri orizontale măsurate repetat la aceleași trei obiecte, la intervale de 5-12 minute,

funcție de viteza navei și scara hărții; simultan se citesc ora și lochul. Dacă punctele sunt situate pe direcția determinată de drumul navei, separate de spații egale cu distanța parcursă de navă între observații, înseamnă că punctele prezintă garanția preciziei;

– dacă condițiile de navigație nu permit aplicarea metodei enunțate mai sus, controlul preciziei celor două arce capabile se realizează printr-o a treia observație; un al treilea unghi orizontal între un al patrulea reper *D* și unul din cele trei obiecte *A, B, C,* inițial considerate; un relevment sau o distanță la unul din cele trei obiecte *A, B, C.* Cea de a treia linie de poziție va constitui un mijloc de verificare a preciziei celor două arce de cerc capabile, determinate de unghiurile orizontale α și β observate la obiectele *A, B, C.*

Erorile care în mod practic pot să afecteze precizia punctului sunt:

– măsurarea sau citirea eronată a unghiurilor orizontale;

– confundarea vreunui reper de navigație observat;

– reperele observate se află la înălțimi sensibil diferite;

– reperele observate nu sunt trecute cu precizie pe hartă;

– erori ale procedeului folosit pentru determinarea punctului pe hartă (construcția geometrică – eronată, introducerea de erori în folosirea stațiografului etc.).

În cazul în care două obiecte (de exemplu, *A* și *B*), din cele trei (*A, B, C*) formează un aliniament (fig. 12-9 *e*) se oferă un caz deosebit de favorabil pentru determinarea punctului. Într-o asemenea situație, precizia determinării poziției depinde în cea mai mare măsură de realizarea simultaneității măsurării unghiului orizontal la reperele *B, C,* cu momentul "tăierii" aliniamentului *A, B.* Pentru realizarea acestei simultaneități, se recomandă practicarea următoarei metode de lucru:

– un observator cu binoclul urmărește obiectele *A, B*; când acestea "se apropie" de aliniament, anunță "atențiune!";

– la "atențiune!", observatorul cu sextantul realizează coincidența imaginilor obiectelor *B, C,* pe care o menține, prin rotirea ușoară a tamburului;

– când nava "taie" aliniamentul *A, B,* observatorul cu binoclul anunță "stop!". Simultan, observatorul cu sextantul măsoară unghiul orizontal la reperele *B, C.*

Punctul navei, în acest caz, se obține prin intersecția dreptei de poziție determinată de aliniamentul A, B, cu arcul de cerc capabil de unghiul orizontal măsurat la reperele *B* și *C* (fig. 12-9 *e*).

O atenție deosebită trebuie dată când problema determinării punctului se rezolvă cu stațiograful și observarea reperelor pe baza celor cinci criterii enunțate mai sus creează temerea cazului de nedeterminare. Într-un asemenea caz, brațele stațiografului pot realiza coincidența cu cele trei obiecte *A, B, C,* într-o infinitate de

poziţii ale centrului acestuia (reprezentând punctul navei), de-a lungul arcului de cerc AZZ_1C (fig. 12-8). Practic, dacă după realizarea unei prime coincidenţe a braţelor staţiografului cu obiectele *A,B,C,* printr-o nouă tatonare se reuşeşte o a doua coincidenţă, într-o poziţie diferită, se conclude că nava se află în cazul de nedeterminare. Desigur, confirmarea cazului se va obţine prin aplicarea formulei (12-2); dacă suma celor trei unghiuri (α, β şi $\sphericalangle ABC$) rezultă aproape de 180°, nava se consideră practic în cazul de nedeterminare.

Obţinerea de către navigatori a unor deprinderi sigure în măsurarea unghiurilor cu sextantul, precum şi mânuirea staţiografului, printr-un antrenament perseverent, constituie o condiţie esenţială pentru aplicarea cu succes a acestui procedeu, deosebit de util în practica navigaţiei prin zone costiere dificile.

13 DETERMINAREA POZIŢIEI NAVEI CU DISTANŢE. PROCEDEE COMBINATE

§1 Generalităţi

Cercul de egală distanţă este una dintre liniile de poziţie de mare utilitate în navigaţia costieră. La bordul navelor maritime comerciale, distanţa la reperele de navigaţie se determină cu ajutorul a două mijloace: radarul şi sextantul.

Măsurarea distanţei cu radarul se studiază în partea a VI-a la capitolul 30.

Odată cu introducerea radarului la bordul navelor comerciale, ca unul din mijloacele de bază în navigaţie şi în conducerea navei, s-a renunţat la serviciile *telemetrului cu coincidenţă* pentru măsurarea distanţelor. Dealtfel, chiar anterior introducerii radarului, la navele comerciale, telemetrul era unul din mijloacele de navigaţie cu o utilizare limitată.

În prezentul capitol vom studia procedeele de determinare a distanţei la reperele de navigaţie cu ajutorul sextantului, prin măsurarea unghiului vertical sub care se vede vârful obiectului faţă de linia apei de la baza acestuia sau faţă de orizontul vizibil, în cele două situaţii posibile: baza obiectului se află în interiorul orizontului vizibil; baza obiectului se află în afara orizontului vizibil.

De asemenea, se analizează procedeul determinării distanţei la un obiect, când vârful acestuia se vede pe linia orizontului. În acest caz distanţa se determină numai pe bază de observaţie, în funcţie de înălţimea ochiului observatorului şi înălţimea vârfului obiectului faţă de nivelul mării.

În capitolele anterioare se studiază procedeele navigaţiei costiere de determinare a poziţiei navei cu linii de poziţie de acelaşi fel. În partea finală a acestui capitol se prezintă *procedeele combinate*, principale, de determinare a poziţiei navei prin intersecţia unor linii de poziţie diferite: drepte de relevment (aliniamente), arce de cerc capabile, cercuri de egală distanţă sau linii de egală adâncime. Cu aceasta se încheie studiul "procedeelor de punct" ale navigaţiei costiere.

§2 Determinarea distanţei la un obiect de înăţime cunoscută a cărui bază se află în interiorul orizontului vizibil

Presupunem ochiul observatorului în A la înălţimea I şi obiectul de înălţime H deasupra nivelului mării, având baza C în interiorul orizontului vizibil (fig. 13-1); din A se măsoară cu sextantul unghiul vertical α, sub care se vede vârful B al obiectului

deasupra nivelului mării. În practica navigației, distanța d la obiect se calculează din relația:

$$d = H \operatorname{cotg} \alpha \qquad (13\text{-}1)$$

stabilită prin rezolvarea triunghiului ABC, considerat dreptunghic în C. Rezultă că stabilirea formulei (13-1) se face pe baza următoarelor accepțiuni:

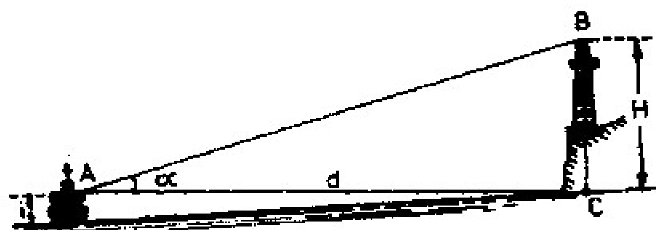


Fig. 13-1

ochiul observatorului se află la nivlul mării; se neglijează influena refracției terestre și curbura Pământului (d fiind relativ mic).

Dacă obiectul nu se află în imediata apropiere a liniei apei (ca în fig. 13-1), ci la o oarecare distanță de aceasta, unghiul vertical se măsoară între vârful obiectului și punctul de la linia apei aflat în planul vertical al acestuia.

Din cele arătate, se conclude că distanța la obiect determinată pe baza formulei (13-1) conține anumite aproximații. Considerând înălțimea obiectului H deasupra nivelului mării MM', ca fiind reprezentată de segmentul BC (fig. 13-2), perpendicular pe acesta și ochiul observatorului A la înălțimea i, rezultă că arcul BAC este arcul de

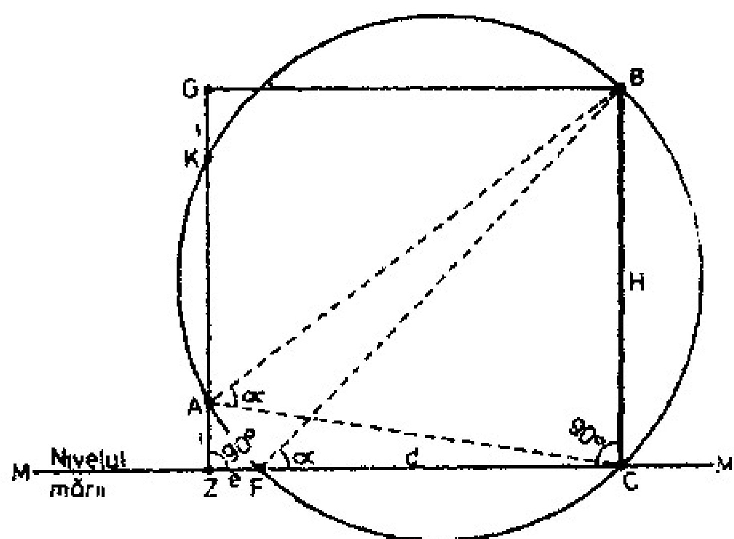


Fig. 13-2

cerc capabil de unghiul vertical α observat la obiect. Distanța reală a observatorului la obiect este ZC, Z și C fiind proiecția ochiului observatorului A, respectiv a vârfului B al obiectului, pe suprafața mării. Formula (13-1) exprimă însă distanța $d = FC$,

punctul F fiind intersecţia nivelului mării cu arcul de cerc vertical capabil de α; în consecinţă, segmentul ZF reprezintă eroarea în determinarea distanţei la obiectul observat pe baza formulei (13-1).

Pentru deducerea mărimii erorii $ZF = e$, procedăm la construcţia dreptunghiului $BCZG$, ducând paralele ZG şi BG, la BC prin Z respectiv la ZC prin B. În această construcţie, ZK şi ZC sunt segmente secante la arcul de cerc vertical capabil de α, duse din punctul exterior Z, iar ZA şi ZF părţile exterioare ale acestora. Aplicând terorema proporţionalităţii invers dintre secante şi părţile lor exterioare cercului, se obţine:

$$\frac{ZK}{ZC} = \frac{ZF}{ZA}$$

de unde:

$$ZF = \frac{ZA \cdot ZK}{ZC}$$

în care: $ZK = ZG - GK$, iar $GK = ZA = i$ şi $ZG = H$;
deci:

$$e = \frac{i(H-i)}{ZC}$$

Formula (13-2) arată că eroarea $e < i$ dacă $\frac{H-i}{ZC} < 1$ relaţie care se verifică în practica navigaţiei, deoarece distanţa reală la obiect $ZC > H\text{-}i$. Rezultă că eroarea în distanţa la obiect, calculată prin formula (13-1) este mai mică decât înălţimea i a ochiului observatorului deasupra nivelului mării. Având în vedere valoarea posibilă a lui i, se poate spune că formula (13-1) oferă o precizie suficientă pentru rezolvarea problemei.

În concluzie, pentru a mări precizia procedeului sunt de reţinut următoarele recomandări:

– unghiul vertical la obiect să se măsoare dintr-un punct de observaţie plasat cât mai jos la bord, cu condiţia ca baza obiectului să se menţină în interiorul orizontului vizibil;

– când în vedere se află mai multe obiecte, a se alege acela a cărui verticală se sprijină pe linia apei sau cât mai aproape de aceasta.

Înălţimea H a farurilor deasupra nivelului mării este indicată în *cartea farurilor*. În zonele cu maree, înălţimea H este indicată faţă de nivelul mării într-un anumit stadiu al mareei, precizat în cartea farurilor; se impune deci ca înălţimea farului redată în acest document nautic să fie corectată funcţie de înălţimea mareei din momentul observaţiei (vezi cap. 33). Înălţimea anumitor repere de navigaţie, altele decât farurile, este indicată în *cărţile pilot*.

Formula (13-1) este rezolvată de tabla 29-a din *Tablele nautice MT – 53*; aceasta exprimă distanța, în mile marine, intrând pe linie cu unghiul observat în minute de arc și pe coloană cu înălțimea obiectului în metri, fiind întocmită pe baza relației:

$$d = \frac{H}{1852} \text{cotg } \alpha \qquad (13\text{-}3)$$

Unghiul vertical măsurat cu sextantul se corectează funcție de eroarea indicelui ε.

Având în vedere faptul că unghiul vertical α este mic, se poate scrie:

$$\text{cotg } \alpha = \frac{1}{\text{tg } \alpha} \cong \frac{1}{\alpha \text{ arc} 1'} = \frac{3438}{\alpha}$$

unde α reprezintă valoarea unghiului vertical, în minute; rezultă că formula (13-3) ia forma:

$$d = \frac{3438}{1852} \cdot \frac{H}{a}$$

de unde:

$$d = \frac{13}{7} \cdot \frac{H}{\alpha} \qquad (13\text{-}4)$$

relație care permite rezolvarea cu ușurință a formulei (3-1).

Exemplu:

Se măsoară unghiul vertical instrumental α_i = 21′.3 la un obiect care are înălțimea de 41 m deasupra nivelului mării; eroarea indicelui sextantului ε = – 1′.3. Se cere distanța la obiect.

Rezolvare:

Unghiul vertical α = αi+ ε = 21′.3 + (-1′.3) = 20′

După formula (13-1);

$$\begin{aligned} \log 41 &= 1.61278 \\ \log \text{cotg } 20' &= 2.23524 \\ \hline \log d &= 3.84802 \\ d &= 7047 \text{ m} = 3.8 \text{ Mm} \end{aligned}$$

Cu tabla 29-a din Tablele nautice MT – 53.

Se intră cu α = 20′ pe linie și cu *H* = 41 m pe coloană și se obține *d* = 3.8 Mm.

După formula (13-4):

$$d = \frac{13}{7} \cdot \frac{H}{\alpha} = \frac{13}{7} \cdot \frac{41}{20} = 3.8 \text{ Mm}$$

§3 Determinarea distanţei la un obiect de înălţime cunoscută a cărui bază se află în afara orizontului vizibil

Considerăm un observator în punctul Z de pe sfera terestră având ochiul în A, la înălţimea i deasupra nivelului mării (fig. 13-3). În punctul C se află baza unui obiect de vârf B şi înălţime cunoscută $BC = H$; baza C a obiectului se află în afara orizontului vizibil al observatorului. Pentru determinarea distanţei la obiect se măsoară unghiul vertical α, sub care se vede vârful B al obiectului deasupra orizontului vizibil.

Pentru înţelegerea celor ce urmează apreciem necesare următoarele precizări privind fig. 13-3:

– O reprezintă centrul sferei terestre;

– $T = \sphericalangle ZOC$, care în minute de arc este egal cu distanţa $d = \overset{\frown}{ZC}$ în mile marine, de la observator la obiect. În această interpretare, mila marină se consideră egală cu arcul de cerc mare de 1′ de pe sfera terestră;

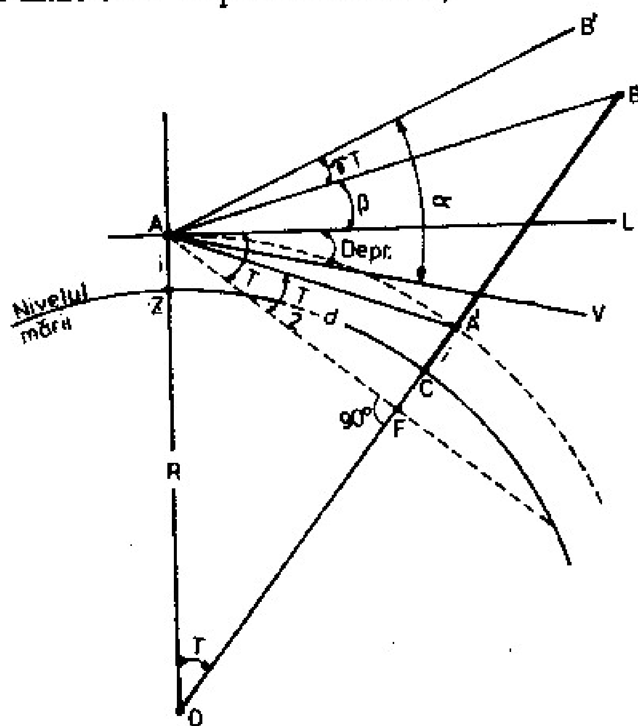


Fig. 13-3

– AV, direcţia în care se vede orizontul vizibil sub influenţa refracţiei terestre;

– AL, orizontul adevărat al observatorului;

– $\sphericalangle LAV$ = Depr., depresiunea orizontului vizibil;

– AB, direcţia la vârful B al obiectului;

– AB', direcţia în care se vede vârful B al obiectului sub efectul refracţiei terestre;

– $\sphericalangle\ B'AB = \gamma T$, unghiul refracţiei terestre funcţie de coeficientul refracţiei medii $\gamma = 0{,}08$ şi unghiul la centrul sferei T, ca măsură a distanţei de la observator la obiect;

– $\sphericalangle\ B'AV = \alpha$, unghiul vertical sub care se observă vârful obiectului deasupra orizontului vizibil;

– $\sphericalangle\ BAL = \beta$, *unghiul vertical adevărat* format între orizontul adevărat şi direcţia *AB* la vârful obiectului. Figura (13-3) arată că:

$$\beta = \alpha - \text{Depr.} - \gamma T \tag{13-5}$$

– *A'*, punctul de interesecţie al obiectului cu un cerc de rază $R + i$ şi centrul în *O*, *R* fiind raza sferei terestre;

– *F*, piciorul perpendicularei coborâte din *A* pe verticala obiectului. Rezultă că $\sphericalangle\ LAF = T$, iar $\sphericalangle\ A'AF = \frac{T}{2}$.

Cu aceste precizări, trecem să stabilim relaţia pentru determinarea distanţei la obiect, funcţie de α, *H* şi *i*.

În fig. 13-3 se observă că:

$$BA' = BF - A'F$$

Din triunghiurile dreptunghice *BAF* şi *A'AF* se stabileşte:

$$BA' = AF \operatorname{tg}(T + \beta) - AF \operatorname{tg}\frac{T}{2}$$

Însă $BA' = H - i$, iar din triunghiul dreptunghic *AFO* se deduce că $AF = (R + i) \sin T$, deci:

$$H - i = (R + i) \sin T \left[\operatorname{tg}(T + \beta) - \operatorname{tg}\frac{T}{2}\right]$$

sau:

$$H - i = 2(R + i) \sin\frac{T}{2} \frac{\sin\left(\beta + \frac{T}{2}\right)}{\cos(T + \beta)} \tag{13-6}$$

Numitorul membrului din dreapta se poate transforma astfel:

$$\cos(T + \beta) = \cos\left[\left(\beta + \frac{T}{2}\right) + \frac{T}{2}\right] = \cos\left(\beta + \frac{T}{2}\right)\cos\frac{T}{2} - \sin\left(\beta + \frac{T}{2}\right)\sin\frac{T}{2}.$$

Unghiurile *T* şi β fiind mici, după efectuarea reducerilor, formula (13-6) ia forma:

$$H - i = 2(R + i) \operatorname{tg}\frac{T}{2} \operatorname{tg}\left(\beta + \frac{T}{2}\right)$$

Ţinând seama de egalitatea (13-5) care exprimă pe β şi de faptul că T este mic, se poate scrie:

$$H - i = (R + i)\,T\,\mathrm{tg}\left(\alpha - \mathrm{Depr.} - \gamma T + \frac{T}{2}\right) = (R + i)\,T\,\mathrm{tg}\left[\alpha - \mathrm{Depr.} + \frac{T}{2}(1 - 2\gamma)\right] \quad (13\text{-}7)$$

Însă $T = \frac{d}{R}$, dacă T este exprimat în radiani; dacă se exprimă în minute de arc:

$$T'' = \frac{d}{R\ \mathrm{arc}\,1'}$$

Expresia (13-7) devine deci:

$$(H - i) = +\left(1 + \frac{i}{R}\right)d\ \mathrm{tg}\left[\alpha - \mathrm{Depr.} + \frac{d(1 - 2\gamma)}{2R\ \mathrm{arc}\,1'}\right]$$

în care neglijând pe $\frac{i}{R}$, se obţine:

$$d = (H - i)\mathrm{cotg}\left[\alpha - \mathrm{Depr.} + \frac{d(1 - 2\gamma)}{2R\mathrm{arc}\,1'}\right] \quad (13\text{-}8)$$

Aceasta este formula care stă la baza calculului distanţei d la obiect, când baza acestuia se află în afara orizontului vizibil; d din expresia $d(1\text{-}2\gamma)$ a membrului din dreapta este o mărime ajutătoare pentru calculul corecţiei refracţiei terestre, γ fiind considerat cu valoarea sa medie de 0,08. În practica navigaţiei, acest d este obţinut din distanţa dintre punctul estimat al navei şi obiectul observat, scoasă din hartă. Considerând această distanţă estimată ca o mărime cunoscută şi notând-o cu d', formula (13-8) devine:

$$d = (H + i)\mathrm{cotg}\left[\alpha - \mathrm{Depr.} + \frac{d'(1 - 2\gamma)}{2R\mathrm{arc}\,1'}\right] \quad (13\text{-}9)$$

Depresiunea orizontului vizibil (Depr.) se calculează cu ajutorul tablei 11-*b* din *Tablele nautice MT – 53*, în funcţie de înălţimea i a ochiului observatorului.

Formula (13-9) stă la baza întocmirii diferitelor table nautice, care dau distanţa d la obiect. Astfel, tabla 29-*b* din *Tablele Nautice MT – 53* rezolvă problema folosind relaţia:

$$-10^6 \ln\cos(d + \beta) = -10^6 \ln\cos\beta + 10^3\frac{(H - i)}{R} \quad (13\text{-}10)$$

obţinută din formula (13-9), unde *unghiul vertical adevărat* $\beta = \alpha - \mathrm{Depr.} - d'\gamma$.

Tabla 29 b are două părţi:

– *partea I*, care exprimă valoarea $10^3\,\frac{(H - i)}{R}$, în funcţie de argumentul $(H - i)$;

– *partea a II-a*, ce conține logaritmii naturali ai cosinusului pentru unghiurile de la 0° la 9°50′, înmulțiți cu 10^6.

Modul de utilizare a tablei este indicat în rezolvarea celor două exemple, date mai jos.

Exemplul 1. De la înălțimea ochiului obsrvatorului i = 5 m se măsoară unghiul vertical instrumental α_i = 10′.2 la un obiect de înalțime H = 50 m, a cărui bază este în afara orizontului vizibil. Eroarea indicelui sextantului ε = – 1′.2; distanța la obiect din punctul estimat al navei d ≐ 7 Mm.

Se cere distanța la obiect.

Rezolvare:

a – Se calculează β

– unghiul vertical-instrumental .... α_i = 10′.2
– eroarea indicelui .... ε = – 1.2
– Depr. (tabla 11-*b* pentru i = 5 m) .... = – 4.0
– refracția terestră (= 7 Mm x 0.08) .... $d'\gamma$ = – 0.6

– unghiul vertical adevărat .... β = 4′.4

b – Se intră în partea I a tablei 29-b cu $H - i$ = 45 m și se obține termenul i = 7; acest termen dă valoarea expresiei $10^3 \frac{(H-i)}{R}$.

c – Se intră în partea a II-a a tablei 29 – b cu β = 4′.4 și se obține termenul II = 1, care reprezintă valoarea expresiei $10^6 \ln \cos \beta$.

d – Se face suma termenilor I + II = 8, care dă valoarea expresiei $10^6 \ln \cos \beta + 10^3 \frac{(H-i)}{R}$.

e – Se intră invers în partea a II-a a tablei 29-b cu suma celor doi termeni I + II = 8 și se obține d + β = 14.

f – Se scade β = 4′.4 din suma d + β = 14 și se obține distanța la obiect d = 9.6 Mm.

Exemplul 2. De la înălțimea ochiului observatorului i = 5 m se măsoară unghiul vertical instrumental αi = 1°36′ la vârful unei coline de la coastă de înălțime H = 805 m, a cărei bază se află în afara orizontului vizibil. Eroarea indicelui sextantului ε = –1′; distanța la vârful observat din punctul estimat al navei d ≐ 11 mm.

Se cere distanța la vârful observat.

În rezolvarea acestui exemplu se folosește tipul de calcul recomandat de a fi aplicat în practica navigației:

α_I .... = 1°36′.0
ε .... = – 1′.0
Depr. (tabla 11, I = 5 m) .... = – 4′.0
$d'\gamma$ (= 11 x 0.08) .... = – 0′.9

β .... = 1°30′.1
$H - i$ .... = 800 m
Termenul I .... = 126
Termenul II .... = 344

I+II .... = 470
d+β .... = 1°45′.4
β .... = 1°30′.1

d .... = 15.3 Mm

Precizia procedeului depinde, în principal, de:

– precizia măsurării unghiului vertical; în acest caz, ca urmare a distanţei considerabile la obiect, unghiul vertical este, în general, de valori mici şi măsurarea lui trebuie executată cu multă atenţie;

– eroarea care se introduce în determinara corecţiei refracţiei terestre $d'\gamma$. În stabilirea acestei corecţii se introduc două aproximaţii: se calculează funcţie de valoarea medie 0.08 a coeficientului γ, care poate fi diferită faţă de condiţiile refracţiei terestre existente în momentul observaţiei; se calculează funcţie de distanţa estimată d' la obiect, care poate să conţină uneori erori apreciabile. Într-un asemenea caz, se recomandă aplicarea procedului aproximaţiilor succesive, recalculând corecţia refracţiei terestre funcţie de d obţinut şi apoi reconsiderând calculul distanţei la obiect.

§4 Determinarea distanţei la un obiect de înălţime necunoscută, a cărui bază se află în interiorul orizontului vizibil

Acest procedeu se aplică la aprpierea de coastă, când nava merge cu prova pe un obiect de înălţime necunoascută.

Considerăm că nava execută aterizarea la coastă având în prova o construcţie de vârf B (fig. 13-4). În punctul A se măsoară unghiul vertical α al vârfului B faţă de nivelul mării, iar în punctul F – unghiul vertical β; spaţiul parcurs de navă între cele

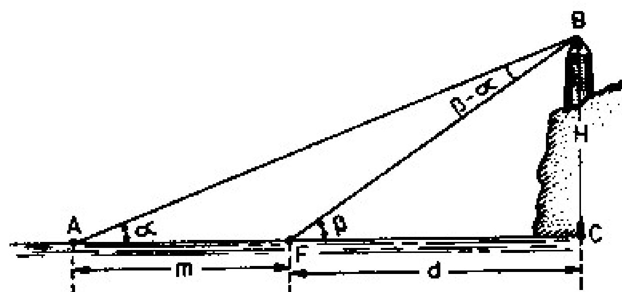


Fig. 13-4

două observaţii este $AF = m$. Distanţa $FC = d$ la obiect în momentul celei de a doua observaţii se obţine prin rezolvarea succesivă a triunghiurilor AFB şi FCB, cunoscând pe α, β şi m, astfel:

– se aplică formula sinusurilor în triunghiul AFB, ştiind că $\sphericalangle ABF = \beta - \alpha$:

$$\frac{FB}{\sin\alpha} = \frac{m}{\sin(\beta - \alpha)}$$

de unde:

$$FB = m \sin\alpha \operatorname{cosec}(\beta - \alpha); \qquad (13\text{-}11)$$

– în triunghiul *FCB*, dreptunghic în *C*, distanţa la obiect:

$$d = FB \cos \beta,$$

în care, introducând valoarea ipotenuzei dată de formula (13-11), se obţine:

$$d = m \sin \alpha \cos \beta \operatorname{cosec} (\beta - \alpha). \qquad (13\text{-}12)$$

Procedeul prezintă importanţă practică pentru rezolvarea problemelor de poziţie la ancorare şi, în general, la apropierea de coastă, având în vedere numai obiecte sau puncte de înălţime necunoscută (în condiţii de vizibilitate limitată sau în zone cu un balizaj redus).

Exemplu. O navă ia un drum cu prova pe o construcţie de la coastă pentru a ancora. La ora 08.15 se măsoară $\alpha = 52'$; citirea la loch $cl_1 = 75$ Mm. La ora 08.25 se măsoară la acelaşi obiect unghiul ertical $\beta = 1°34'$; citirea la loch $cl_2 = 76.5$ Mm. Factorul de corecţie al lochului $f = 1$.

Se cere distanţa la obiect în momentul ultimei observaţii.

Rezolvare:

$m = f(cl_2 - cl_1) = 1.5$ Mm	$\log m = 0.17609$
$\alpha = 52'$	$\log \sin \alpha = 9.17971$
$\beta = 1°34'$	$\log \cos \beta = 9.99984$
$\beta - \alpha = 42'$	$\log \operatorname{cosec} (\beta - \alpha) = 1.91304$
	$\log d = 0.26868$
	$d = 1,9$ Mm

§5 Determinarea distanţei la un obiect al cărui vârf se vede pe linia orizontului

Considerăm că un observator cu ochiul în *A* la înălţimea *i* deasupra nivelului mării vede vârful *B* al unui far de bază *C* şi înălţime *H*, pe linia orizontului (fig. 13-5).

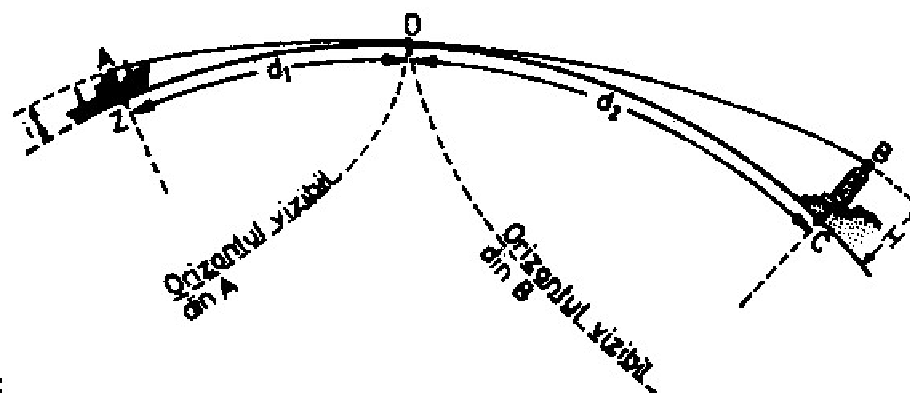


Fig. 13-5

Distanţa la orizontul vizibil din punctul *A* este d_1; distanţa la orizontul vizibil din punctul *B* este d_2. Punctul *D* reprezintă, deci, punctul de tangenţă al orizonturilor

vizibile ale punctelor *A* şi *B*. Distanţa *d* la far, în momentul când vârful acestuia se vede pe linia orizontului este egală cu suma celor două distanţe la orizontul vizibil:

$$d(\mathrm{Mm}) = d_1 + d_2 = 2.08\left(\sqrt{i} + \sqrt{H}\right) \qquad (13\text{-}13)$$

dacă *i* şi *H* sunt exprimate în metri şi:

$$d(\mathrm{Mm}) = 1.15\left(\sqrt{i} + \sqrt{H}\right) \qquad (13\text{-}14)$$

când *i* şi *H* sunt date în picioare.

În practica navigaţiei, procedeul se aplică la aterizarea la coastă pe timpul nopţii, când lumina farurilor apare în vedere pe linia orizontului sau la îndepărtarea de coastă, când farurile dispar din vedere.

În cazul aterizărilor la coastă pe timpul nopţii, în condiţii favorabile de vizibilitate, se observă mai întâi iluminarea orizontului, în direcţia farului, printr-o lumină difuză, care face posibilă chiar identificarea acestuia; observarea atentă a orizontului în direcţia respectivă permite sesizarea cu uşurinţă a momentului când sursa de lumină a farului se vede pe linia orizontului.

Momentul apariţiei luminii farului pe linia orizontului este folosit pentru determinarea punctului navei cu un relevment şi o distanţă (vezi § 8, pct. 1); în acest scop, odată cu apariţia luminii farului pe linia orizontului se măsoară relevmentul la acesta şi se citesc lochul şi ora bordului.

Problema determinării distanţei se rezolvă cu tabla 22 din *Tablele nautice MT – 53*, folosind ca argumente de intrare pe *i* şi *H*, exprimate în metri şi cu tabla *Distance of sea horizon nautical miles* din *BNA*, *i* şi *H* fiind exprimate în picioare.

Exemplu.

La intrarea în canalul Mânecii, pe timpul nopţii, se observă apariţia luminii farului Wolf pe linia orizontului. Înălţimea ochiului observatorului $i = 45$ picioare, iar înălţimea farului Wolf, $H = 110$ picioare (scoasă din *Cartea Farurilor*).

Se intră succesiv în tabla "*Distance of sea horizon in nautical miles*" cu *i* şi *H*, pe coloana "*Height in feet*" şi se citesc d_1 şi respectiv d_2, în coloana "*Distance*":

– pentru $i = 45$ picioare .... $d_1 = 7.72$ Mm
– pentru $H = 110$ picioare .... $d_2 = 12.05$ Mm
– distanţa la far $d = 19.77$ Mm.

În documentele nautice româneşti, bătaia farurilor este exprimată pentru înălţimea ochiului observatorului de 5 m, rezultă că, dacă înălţimea ochiului observatorului este diferită de 5 m, bătaia farurilor trebuie corectată funcţie de valoarea lui *i*. Corecţia Δ în mile marine, se stabileşte astfel:

$$\Delta(\mathrm{Mm}) = 2.08\left(\sqrt{i} - \sqrt{5}\right)$$

Ştiind că $2.08\sqrt{5} = 4.7$ se obţine:

$$\Delta(\text{Mm}) = 2.08\sqrt{i} - 4.7 \qquad (13\text{-}15)$$

Bătaia farului d în mile marine, la înălţimea ochiului i, se obţine din bătaia d_1 a farului, indicată în documentul nautic pentru înălţimea ochiului de 5 m şi corecţia Δ, deci:

$$d = d_1 + \Delta \qquad (13\text{-}16)$$

unde Δ intră cu semnul:

+ dacă $i > 5$ m;

– dacă $i < 5$ m.

În documentele nautice engleze, bătaia farurilor este exprimată pentru înălţimea ochiului observatorului de 15 picioare; corecţia Δ este următoarea:

$$\Delta(\text{Mm}) = 1.15\left(\sqrt{i} - \sqrt{15}\right)$$

Ştiind că $1.15\sqrt{15} = 4.45$ se obţine:

$$\Delta(\text{Mm}) = 1.15\sqrt{i} - 4.45 \qquad (13\text{-}17)$$

În acest caz, corecţia Δ are semnul:

+ dacă $i > 15$ picioare;

– dacă $i < 15$ picioare.

§6 Precizia distanţei determinate din unghiul vertical măsurat cu sextantul

Precizia distanţei determinate din unghiul vertical măsurat cu sextantul este funcţie de:
– precizia unghiului vertical α;
– precizia cu care se introduce în calcul înălţimea H a obiectului.

1 Influenţa erorii în unghiul vertical α măsurat la obiect

Considerăm că din punctul A se măsoară ungiul vertical α la un obiect de vârf B şi bază C, având înălţimea H deasupra nivelului mării (fig. 13-6).

Admiţând că unghiul α este măsurat cu exactitate, distanţa d la obiect este dată de formula (13-1):

$$d = AC = H \operatorname{cotg} \alpha$$

În cazul în care α este afectat de o eroare $\Delta\alpha = \sphericalangle\ ABD$, înălțimea H a obiectului ar fi văzută sub un unghi vertical $\alpha + \Delta\alpha = \sphericalangle\ BDC$, dintr-un punct D. Distanța eronată $d' = DC$ este exprimată de relația:

$$d' = DC = H\ \text{cotg}\ (\alpha + \Delta\alpha).$$

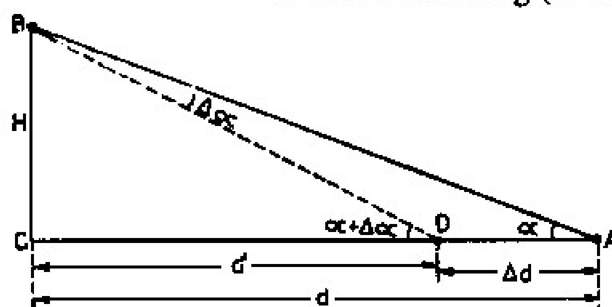


Fig. 13-6

Eroarea în determinarea distanței $\Delta d = AD$ cauzată de eroarea $\Delta\alpha$ în măsurarea unghiului vertical se obține din diferența:

$$\Delta d = d - d' = H\ [\text{cotg}\ \alpha - \text{cotg}\ (\alpha + \Delta\alpha)]$$

de unde:

$$\Delta d = H \frac{\sin \Delta\alpha}{\sin\alpha \sin(\alpha + \Delta\alpha)} \qquad (13\text{-}18)$$

care arată că eroarea în distanță crește cu înălțimea obiectului și eroarea în unghiul vertical; ea descrește însă cu mărimea unghiului vertical.

2 Influența erorii în înălțimea H a obiectului observat

Presupunem că din punctul A se măsoară unghiul vertical α la obiectul de vârf B și bază C, având înălțimea H deasupra nivelului mării (fig. 13-7).

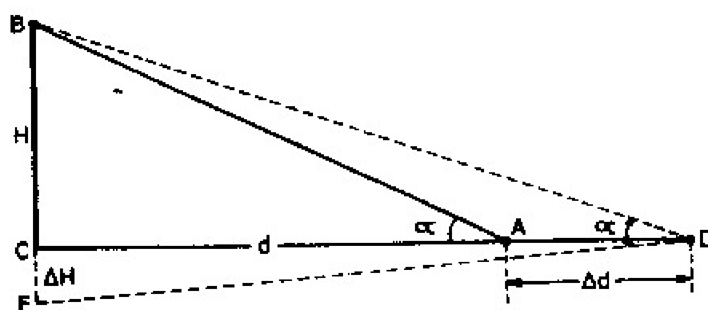


Fig. 13-7

Dacă în stabilirea înălțimii H a obiectului se produce o eroare ΔH, rezultă că, menținând unghiul vertical α, distanța la obiect devine:

$$DE = d + \Delta d = (H + \Delta H)\ \text{cotg}\ \alpha \qquad (13\text{-}19)$$

obținută din triunghiul *DEB*, considerat dreptunghic în *E*, dată fiind valoarea mică a lui ΔH.

În cazul în care eroarea ΔH nu s-ar produce, distanța corectă *d* la obiect ar rezulta:

$$AC = d = H \operatorname{cotg} \alpha \tag{13-20}$$

Scăzând egalitatea (13-20) din (13-19), membru cu membru:

$$\Delta d = \Delta H \operatorname{cotg} \alpha \tag{13-21}$$

care arată că eroarea în distanța determinată la obiect crește proporțional cu eroarea în înălțimea obiectului.

3 Influența unei erori Δα în unghiul vertical și a unei erori ΔH în înălțimea obiectului

Însumând ecuațiile (13-21) și (13-18), membru cu membru, se obține relația care exprimă eroarea Δd în distanța determinată la obiect, sub influența unei erori $\Delta\alpha$ în unghiul vertical și a unei erori ΔH în înălțimea obiectului:

$$\Delta d = \Delta H \operatorname{cotg}\alpha + H \frac{\sin \Delta\alpha}{\sin\alpha \sin\,(\alpha + \Delta\alpha)} \tag{13-22}$$

§7 Determinarea punctului navei cu distanțe

1 Cazul distanțelor simultane

Distanța măsurată la un reper de navigație determină o linie de poziție de forma unui cerc, care are centrul în reperul observat și raza egală cu distanța măsurată.

Considerăm că s-a măsurat distanța d_1 la reperul A și distanța d_2 la reperul B (fig. 13-8). Pentru determinarea poziției navei se trasează cele două cercuri de egală distanță, de rază d_1 și respectiv d_2, având centrele în *A* și *B*; la intersecția lor se obține punctul navei *Z*.

Este evident că cele două cercuri de poziție se intersectează în două puncte. Intersecția care reprezintă poziția navei se află în apropierea punctului estimat; în caz de dubiu, la intersecții apropiate, o a treia linie de poziție (relevment, distanță etc.) va constitui un indiciu edificator.

În cazul a două distanțe, intersecția cea mai favorabilă a cercurilor de poziție (respectiv a tangentelor la acestea în punctul navei) este de 90°; când punctul navei se determină cu trei distanțe, intersecțiile cele mai favorabile sunt sub un unghi de

60° şi, respectiv, de 120°. Pentru a se realiza asemenea intersecţii favorabile, obiectele la care se măsoară distanţele se aleg astfel, ca direcţiile la ele să formeze unghiuri cât mai apropiate de aceste valori.

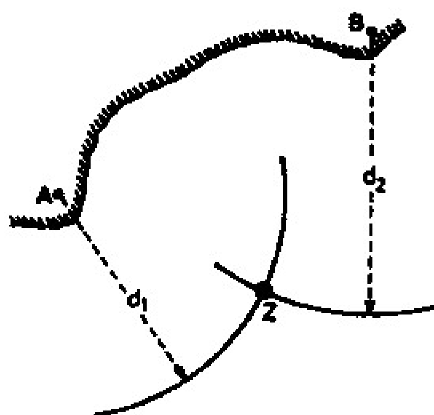


Fig. 13-8

Determinarea poziţiei navei cu distanţe este un procedeu independent de compas; de aceea, ca şi procedeul unghiurilor orizontale, procedeul distanţelor este recomandat în situaţia în care corecţia compasului nu este cunoscută cu precizie.

2 Cazul distanţelor succesive

Presupnem că nava merge în drumul D şi se măsoară succesiv distanţa d_1 la obiectul A şi apoi d_2 la reperul$B$ (fig. 13-9); spaţiul parcurs de navă între observaţii este $m = f(cl_2 - cl_1)$. În acest caz poziţia navei se determină astfel:

– se trasează cercul de poziţie de rază d_2 cu centrul în B;

– se transportă reperul A în A_1, în drumul D şi distanţa m parcursă de navă în intervalul de timp dintre observaţii;

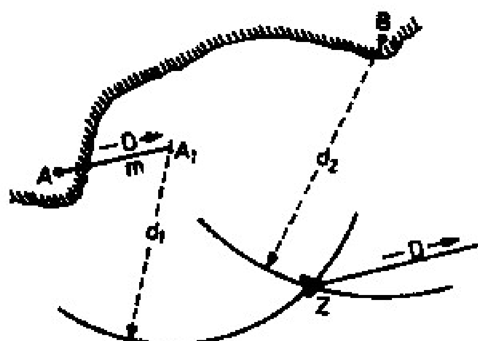


Fig. 13-9

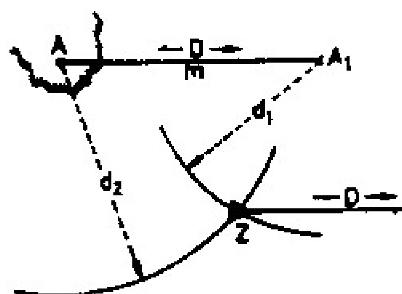


Fig. 13-10

– se trasează cercul de poziţie de rază d_1 cu centrul în A_1. la intersecţia acestui cerc de poziţie transportat, de rază d_1, cu cercul de egală distanţă d_2, se află punctul observat-estimat al navei Z.

Când distanțele d_1 și d_2 sunt măsurate succesiv la același reper A (fig. 13-10), punctul navei se determină astfel:

– se trasează cercul pe poziția de rază d_2 cu centrul în obiectul A;

– se transportă reperul A în A_1, în drumul D și la distanța $m = f(cl_2 - cl_1) = V(t_2 - t_1)$ parcursă de navă în intervalul de timp $t_2 - t_1$ dintre observații;

– se trasează cercul de poziție de rază d_1 cu centrul în A_1. La intersecția cercului de poziție transportat, de rază d_1 cu cel de rază d_2, se află punctul observat-estimat al navei Z.

§8 Procedee combinate

În practica navigației costiere se ivesc cazuri frecvente când punctul navei se determină prin interesecția unor linii de poziție diferite. În cele ce urmează se redau procedeele combinate care își găsesc cea mai largă aplicare.

1 Determinarea punctului navei cu un relevment (aliniament) și o distanță

Este procedeul care oferă avantajul determinării punctului navei cu două observații simultane la un singur obiect. Punctul navei se obține prin intersecția dreptei de relevment AR trasată prin reperul observat A, cu cercul de poziție de rază d având centrul în A (fig. 13-11); punctul de intersecție Z reprezintă punctul observat al navei.

Intersecția este întotdeauna favorabilă, deoarece cele două linii de poziție se taie sub un unghi de 90°.

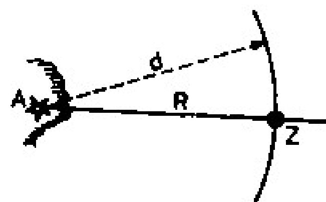


Fig. 13-11

Procedeul își găsește aplicare frecventă și la apropierea de coastă pe timpul nopții, când lumina farului pe care se execută aterizarea apare pe linia orizontului; în acest moment se măsoară relevmentul la far, se citesc lochul și ora bordului, distanța la acesta calculându-se după formula (13-13) sau (13-14). Precizia procedeului, în acest caz, depinde în cea mai mare măsură de precizia determinării distanței la far, sub efectul refracției terestre; deoarece bătaia unui far poate să aibă variații apreciabile, datorită influenței refracției terestre, se recomandă ca acest prim punct

determinat la apariția luminii farului de aterizare să fie privit ca aproximativ și precizia lui să fie verificată printr-un alt procedeu, de îndată ce condițiile permit.

Când procedeul se aplică prin "tăierea" unui aliniament și măsurarea unghiului vertical la obiectul cel mai apropiat al aliniamnetului, se recomandă a se acționa astfel:

– un observator urmărește variația aliniamentului, cu binoclul; când "aliniamentul se apropie", acesta anunță "atențiune!";

– la "atențiune", observatorul cu sextantul măsoară unghiul vertical la obiectul cel mai apropiat al aliniamentului și continuă să mențină tangentarea imaginii dublu reflectate a vârfului reperului cu linia apei, printr-o rotire ușoară a tamburului;

– când nava "taie aliniamentul", observatorul cu binoclul anunță "stop!", la care cel cu sextantul măsoară unghiul vertical.

În acest caz, poziția navei se obține prin intersecția dreptei de poziție determinată de aliniament, cu cercul de egală distanță având centrul în obiectul cel mai apropiat al aliniamentului.

2 Determinarea poziției navei cu un relevment (aliniament) și un unghi orizontal

Punctul navei se determină prin intersecția dreptei de relevment *AR* trasată prin reperul la care s-a măsurat, cu arcul de cerc capabil de α, construit prin obiectele *A* și *B* (fig. 13-12); intersecția Z a celor două linii de poziție reprezintă punctul observat al navei.

Precizia acestui procedeu este superioară celei de determinare a punctului cu două relevmente simultane, dat fiind precizia ce caracterizează arcul de cerc capabil, ca linie de poziție.

În practica navigației, procedeul se aplică în următoarele situații:

– când unul din reperele de navigație nu se vede de la alidadă. În acest caz se măsoară relevmentul la reperul care poate fi observat de la alidadă și unghiul orizontal la *A* și *B*, dintr-o poziție favorabilă, de unde cele două obiecte pot fi văzute deodată;

– în condiții în care sunt în vedere numai două repere și unghiul dintre direcțiile lor este mai mic de 30°;

– la manevrele de ancorare, când condițiile impun fundarisirea ancorei într-o poziție precis controlată. Într-un asemenea caz se procedează astfel: se stabilește punctul de ancorare, de exemplu *Z* (fig. 13-13); se unește unul din repere (de exemplu *A*) cu *Z* și se citește relevmentul *R*; se ia drum cu prova pe *A*, de-a lungul

relevmentului *R*, care este folosit deci, ca relevment direcţional; se scoate din hartă unghiul *AZB* = α; se urmăreşte cu sextantul variaţia unghiului α şi când reperele *A* şi *B* sunt văzute în acest unghi, nava se află în poziţia de ancorare.

În cazul în care se foloseşte un aliniament pentru determinarea dreptei de poziţie, observaţiile se execută în modul indicat la capitolul 12, §4.

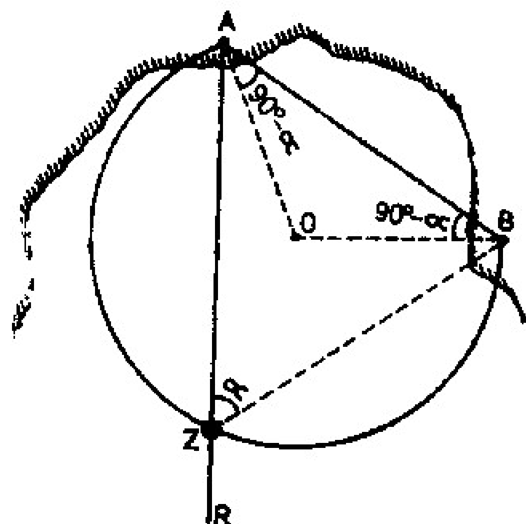


Fig. 13-12

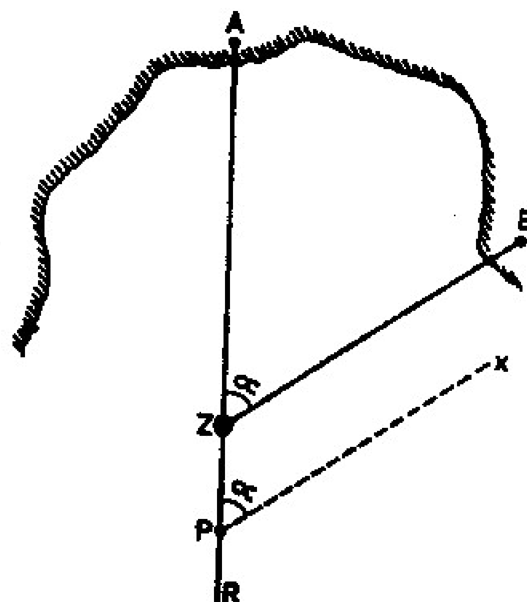


Fig. 13-13

Pentru simplificarea procedeului grafic indicat mai sus (fig. 13-12), de determinare a poziţiei navei, eliminând construcţia arcului de cerc capabil de α, se poate proceda astfel (fig. 13-13):

– se trasează relevmentul *AR* prin *A*;

– într-un punct oarecare *P*, ales în mod arbitrar pe dreapta de relevment, se aşează ipotenuza echerului raportor pe o direcţie *PX*, astfel ca să formeze un unghi α faţă de *AR*. Aceasta se translatează apoi până ajunge în coincidenţă cu *B*; în această poziţie a echerului raportor, interesecţia ipotenuzei cu dreapta de relevment *AR* reprezintă punctul observat al navei *Z*.

3 Determinarea punctului navei cu un unghi orizontal şi o distanţă

Punctul navei se obţine prin intersecţia arcului de cerc capabil de unghiul orizontal α măsurat la obiectele *A* şi *B*, cu cercul de poziţie de rază *d* şi centrul în reperul *A*, la care s-a făcut observaţia pentru determinarea distanţei; la intersecţia celor două linii de poziţie se află punctul observat al navei *Z* (fig. 13-14).

Procedeul este independent de compas. Precizia lui depinde în cea mai mare măsură de precizia cu care se determină distanţa la unul din cele două obiecte.

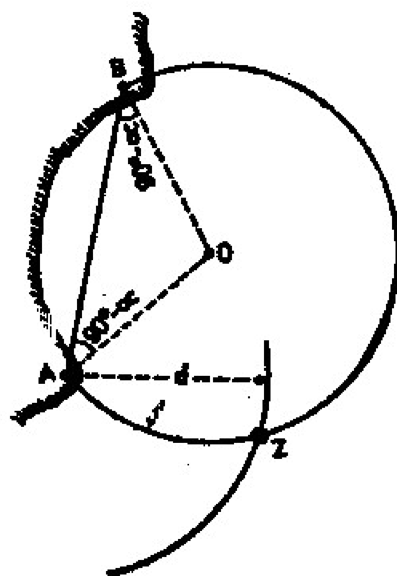


Fig. 13-14

4 Determinarea poziţiei navei cu un relevment şi un sondaj

Punctul navei se obţine la intersecţia dreptei de relevment *AR*, cu linia batimetrică determinată de adâncimea măsurată a apei (fig. 13-15). Poziţia navei se află pe dreapta de relevment *AR*, în apropierea punctului *Z* de intersecţie cu linia batimetrică respectivă.

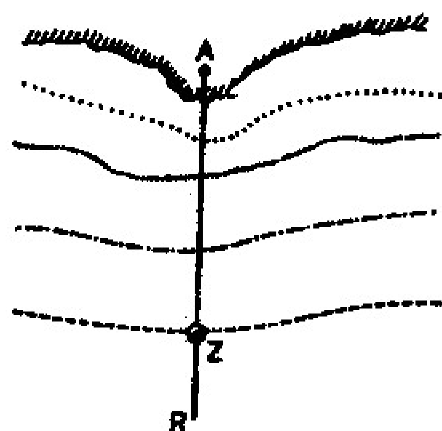


Fig. 13-15

Procedeul dă rezultate cu atât mai bune, cu cât:

– relevmentul măsurat la obiect este mai aproape de normala la orientarea liniilor batimetrice;

– variaţia adâncimii apei pe direcţia relevmentului este mai evidentă.

În orice caz, poziția determinată în acest mod trebuie privită ca aproximativă și, de aceea, ea trebuie verificată printr-un procedeu mai precis, de îndată ce condițiile permit.

Procedeele combinate indicate mai sus sunt acelea pe care practica le-a dovedit ca cele mai utilizate; punctul navei poate fi însă determinat prin combinarea oricăror linii de poziție, în funcție de situația de navigație.

În prezentarea succintă a modului de rezolvare, observațiile au fost considerate simultane. În cazul unor observații succesive, prima linie de poziție se transportă pentru momentul celei de a doua, în modul indicat în capitolul 10, § 5 și la intersecția lor se obține punctul observat-estimat al navei.

14 PROBLEME DE CONDUCEREA NAVEI ÎN APROPIEREA COASTEI

§1 Indicații generale pentru conducerea navei în apropierea coastei

Navigația în apropierea coastei și îndeosebi în treceri dificile impune un studiu amănunțit al condițiilor specifice ale zonei, folosind o documentație nautică completă și recentă. Pe baza acestui studiu se procedează apoi la trasarea drumului pe care nava trebuie să-l urmeze; după plecarea din port sau după aterizarea în zona costieră, în cazul unei traversade, conducerea navei se asigură astfel ca nava să fie menținută continuu pe drumul trasat.

Studiul drumului se efectuează de către comandantul navei și ofițerii care concură la serviciul de cart, sub conducerea comandantului; toți, deopotrivă, trebuie să-și însușească toate particularitățile zonei costiere prin care nava urmează să navige: configurația coastei și modul de recunoaștere a ei, repere de navigație, adâncimi, pericole de navigație și posibilitățile de evitare a acestora, condițiile hidrometeorologice etc.

Trasarea drumului pe hărțile de navigație, în urma documentării complete asupra particularităților zonei costiere, pe baza studiului efectuat, trebuie să conțină toate detaliile necesare conducerii navei în navigație: drumurile de urmat, trasate astfel ca să se ofere posibilitatea observării reperelor de navigație pentru determinarea poziției navei, punctele de schimbare de drum și modul la care acestea se controlează, pericolele de navigație pe lângă care se trece și procedeele de evitare ce vor fi aplicate în diferite ipoteze, funcție de condițiile hidrometeorologice etc.

În situația când urmează să se navige de-a lungul unor coaste necunoscute personalului care concură la conducerea navei, studiul și trasarea drumului trebuie privite ca o operațiune de mare importanță, ce condiționează siguranța navigației. În asemenea situații, se recomandă ca trasarea drumului să fie efectuată de către comandantul navei, personal, într-o formă cât mai completă; după aceea, având la dispoziție întreaga documentație nautică a zonei, se impune ca comandantul să procedeze la documentarea ofițerilor săi de cart, indicând măsurile de luat pentru conducerea navei și siguranța navigației.

Înainte de preluarea cartului, ofiţerul de cart trebuie să revadă detaliile drumului pe care îl va urma în timpul serviciului său, să memoreze datele importante şi să noteze în *caietul de timonerie* pe cele ajutătoare, astfel ca pe timpul cartului să fie în măsură să-şi execute veghea de navigaţie cu eficienţă, pe cât posibil fără a mai consulta documentaţia nautică.

Pe timpul cartului său, din punct de vedere al conducerii navei, ofiţerul de cart trebuie să îndeplinească cu competenţă următoarele sarcini de bază:

– recunoaşterea coastei şi *identificarea cu deplină siguranţă* a reperelor de navigaţie;

– determinarea continuă a poziţiei navei şi menţinerea navei pe drumul trasat pe hartă de către comandant;

– observarea navelor din jur şi executarea manevrelor de evitare, atunci când situaţia impune.

În zona costieră liberă, determinarea punctului navei se face la anumite intervale, folosind procedeele ce oferă cea mai mare precizie, funcţie de condiţiile de navigaţie. Când punctele sunt determinate numai cu două observaţii, se recomandă ca precizia acestora să fie controlată prin compararea spaţiului dintre ele, scos din hartă, cu distanţa parcursă de navă în intervalul de timp respectiv.

La treceri dificile şi în general în condiţii grele de navigaţie, conducerea navei trebuie preluată de către comandant, personal.

Tendinţa manifestată de a se asigura conducerea navei "după ochi", deşi apreciată de unii ca spectaculară, în realitate metoda trebuie privită ca periculoasă. "Ochiul Marinarului", înţelegând prin aceasta capacitatea navigatorului de a observa şi identifica cu rapiditate şi siguranţă situaţia de navigaţie în care se află nava, a intui repede soluţiile de adoptat pentru conducerea ei, format prin experienţă pe mare – este o calitate deosebit de importantă, dar insuficientă, dacă se aplică unilateral. Conducerea navei "după ochi" poate constitui o soluţie în practica pilotajului, unde pilotul – pe baza cunoştinţelor de detaliu asupra condiţiilor de navig .ţie ale zonei limitate în care îşi desfăşoară activitatea şi a repetării îndelungate a .celuiaşi drum, reuşeşte cu timpul să-şi formeze deprinderi cu valoare de reflexe.

În navigaţia de cursă lungă însă, în care navigatorul este pus să-şi desfăşoare activitatea în zone şi situaţii mereu noi, conducerea cu succes a navei se realizează prin îmbinarea armonioasă, funcţie de condiţii, a calităţilor oferite de "ochiul marinarului", cu procedeele puse la dispoziţie de ştiinţa navigaţiei.

Problemele de conducerea navei redate în prezentul capitol sunt probleme de principiu; dealtfel, un alt mod de abordare nici nu văd posibil, dată fiind varietatea mare de situaţii pe care le pot crea condiţiile concrete de navigaţie. Soluţiile indicate au menirea de a da o orientare în felul de a raţiona rezolvarea lor; experienţa la bord, fundamentată pe o pregătire ştiinţifică de navigaţie, îşi aduce un aport deosebit de valoros pentru găsirea soluţiilor optime.

§2 Studiul şi trasarea drumului

1 Studiul drumului

Studiul drumului costier, înainte de plecarea navei din port sau anterior aterizării la coastă, la teaversade oceanice, se efectuează folosind documentaţia nautică cea mai recentă a zonei.

Studiul *cărţilor pilot*, în părţile are privesc zona costieră de parcurs, a *suplimentelor lor*, a *avizelor către navigatori* şi a *cărţii farurilor* trebuie să urmărească o verificare atentă a hărţilor din zonă şi o completare a conţinutului acestora. Corecturile ce rezultă ca necesare sau completările de informaţii obţinute din consultarea acestor documente se înscriu în hărţi. S-au întâlnit cazuri, de exemplu, când în anumite hărţi erau omise unele pericole de navigaţie.

Cărţile pilot conţin detalii foarte utile privind descrierea şi posibilităţile de recunoaştere a coastei, precum şi a reperelor de navigaţie.

Când apar contradicţii privind caracteristicile farurilor sau ale altor date conţinute în documentaţia nautică deţinută la bord, se acceptă drept corecte acelea care sunt redate în documentul de dată mai recentă.

Studiul documentaţiei nautice trebuie să dea o imagine foarte exactă a zonei care trebuie traversată, a pericolelor de navigaţie, a reperelor şi drumurilor recomandate. Adnotări în hărţi cu informaţii utile selecţionate din documentaţia consultată, sublinieri şi însemnări pentru a scoate în evidenţă anumite date ale hărţii constituie un indiciu al unui studiu atent al zonei.

2 Trasarea preliminară a drumului în navigaţia costieră

Fiecare zonă costieră îşi are specificul ei din punct de vedere al navigaţiei, astfel că nu este posibil să se stabilească soluţii general aplicabile pentru trasarea drumului costier, pe care apoi nava să-l urmeze. Studiul procedeelor de navigaţie şi experienţa pe mare au condus la stabilirea unor criterii utile ce trebuie avute în vedere cu toată atenţia şi adaptate condiţiilor specifice de navigaţie din zonă.

Drumul navei funcţie de forma coastei. De-a lungul coastelor orientate aproape de o linie dreaptă, drumul navei se trasează paralel cu coasta. Acolo unde reducerea vizibilităţii constituie un fenomen frecvent în zonă se recomandă ca drumul să fie trasat uşor divergent, în ideea ca într-o asemenea situaţie să se prevină apropierea navei de coastă sau de pericolele de navigaţie.

De-a lungul coastelor cu un contur neregulat, drumul se trasează astfel ca să se treacă la o distanţă de siguranţă de punctele cele mai proeminente, evitându-se însă prelungirea nejustificată a distanţei de parcurs.

Distanţa faţă de coastă şi pericolele de navigaţie. În toate cazurile, drumul se trasează la o distanţă suficientă de toate pericolele, îndeosebi de cele submarine, astfel ca, chiar în cazul unei derive de curent sau de vânt, a unei erori în guvernarea

navei sau a unor erori în determinarea poziției, siguranța navei să nu fie periclitată. *Drumul în raport cu coasta se alege astfel ca să se asigure posibilitatea observării reperelor de navigație pentru determinarea continuă și precisă a poziției navei*, chiar dacă prin aceasta se cauzează o oarecare prelungire a distanței de parcurs; criteriul siguranței navigației trebuie să primeze, adoptând întotdeauna soluții rezonabile.

Distanța față de coastă se stabilește funcție de o seie de criterii, între care principalele sunt: condițiile hidrometeorologice predominante din zonă, felul coastei, pescajul navei și adâncimea apei, posibilitățile oferite pentru determinarea poziției navei, viteza navei etc.

De-a lungul coastelor cu vânturi puternice de la larg se evită apropierea excesivă de coastă, îndeosebi la navele cu viteză redusă.

Când coasta este înaltă și adâncimile sunt mari, se poate apropia până la distanța de 2 Mm de punctele proeminente ale acesteia.

Dacă coasta este joasă și adâncimea apei în apropiere este mică, se vor avea în vedere următoarele indicații orientative:

– la navele cu un pescaj mai mare de 30 de picioare, drumul navei se trasează la larg de izobata de 15 brațe;

– la navele cu un pescaj între 20 și 30 de picioare, izobata de 10 brațe se consideră drept limită;

– la navele mici cu un pescaj de 10-20 de picioare, drumul navei se trasează la larg de izobata de 5 brațe.

Se recomandă evitarea suprafețelor albe de pe hartă (lipsite de sondaje), în zonele de adâncime relativ redusă. În asemenea cazuri este de preferat o trasare a drumului paralelă de la liniile batimetrice, respectând limitele de adâncime redate mai sus.

În cazul unor pericole nebalizate, acolo unde poziția navei nu poate fi controlată cu observații costiere, se trece la o distanță de 5 la 10 Mm de acestea, în funcție de intervalul de timp scurs de la ultimul punct determinat și de condițiile hidrometerologice predominante din zonă. Când trecerea se execută pe timpul nopții sau în condiții de vizibilitate redusă se recomandă ca distanța să fie mărită.

Recomandări diverse. Punctele de schimbare de drum se stabilesc în vederea unor repere de navigație, care să permită controlul poziției navei și al momentului executării manevrei. De regulă, în zona costieră se caută ca schimbările de drum să se efectueze în momentul observării la travers a unuia dintre reperele principale.

Se recomandă ca pentru fiecare drum să se înscrie pe hartă distanța de parcurs, măsurată pe hartă, între punctele de schimbare de drum.

Se trasează bătaia fiecărui far printr-un arc de cerc cu centrul în farul respectiv, de rază egală cu bătaia acestuia calculată pentru înălțimea ochiului observatorului de pe puntea de comandă. De asemenea, se determină *Rp* în care farul trebuie să apară în vedere; pentru aceasta se unește farul cu punctul de intersecție dintre drumul navei și arcul de cerc al bătăii farului, obținându-se astfel *Ra*, de unde $Rp = Ra - Da$.

Odată cu trasarea drumului navei se calculează și declinația magnetică pentru anul în curs, care se notează cu creionul în interiorul fiecărei roze magnetice.

§3 Navigația în apropierea coastei

1 Recunoașterea coastei și identificarea reperelor de navigație

În navigația de-a lungul coastei, în zona costieră liberă, ofițerul de cart are obligația de a menține cu atenție nava pe drumul trasat de către comandant.

Pe măsura deplasării navei se impune recunoașterea continuă a coastei și identificarea reperelor de navigație care apar în vedere. Pe timpul zilei, aceasta se realizează prin observarea atentă a coastei și compararea cu conținutul hărții (conturul coastei, forme topografice de coastă, faruri sau alte repere trecute în hartă etc.). Descrierea coastei redată în *cartea pilot* a zonei, schițele anumitor porțiuni ale coastei prezentate în *cartea pilot* sau pe hartă, descrierea farurilor conținută în *cartea farurilor* sunt informații suplimentare deosebit de utile pentru recunoașterea coastei și identificarea reperelor de navigație.

Pe timpul nopții, recunoșterea se efectuează prin identificarea farurilor, care se realizează prin măsurarea cu secundometrul a intervalelor de timp dintre semnalele luminoase ce constituie caracteristica farului observat. În acest scop, navigatorii cultivă antrenamentul numărării succesive a intervalelor de timp de o secundă fără a face uz de secundometru, cu rezultate satisfăcătoare. Radarul aduce servicii prețioase pentru recunoașterea coastei pe timpul nopții și în general în condiții de vizibilitate redusă (vezi cap. 30).

Drept concluzie – se impune a se reține ca o regulă practică de mare importanță; *nu se procedează la observarea unui reper de navigație, în scopul determinării poziției navei, înainte ca acesta să fie identificat cu certitudine.*

2 Determinarea poziției navei

În zona costieră liberă, poziția navei se determină la intervale de 10-15 minute, funcție de viteza navei, distanța la coastă și scara hărții (astfel ca punctele obținute să fie separate de intervale grafice suficiente); se aplică procedeele cele mai precise și mai rapide de determinare a poziției navei, funcție de condițiile de navigație. În dreptul punctului navei se notează sub formă de fracție: ora bordului, la numărător și citirea la loch din momentul observației, la numitor.

Când punctul navei se determină numai cu două observații, controlul preciziei se realizează comparând spațiul ce separă două puncte consecutive, scoase din hartă, cu distanța parcursă de navă în intervalul de timp respectiv.

Unind cel puțin trei puncte determinate consecutiv se obține drumul navei deasupra fundului; acest drum, comparat cu drumul prin apă în care nava este guvernată, permite determinarea unghiului de derivă (de curent sau de vânt). Unghiul de derivă astfel stabilit este utilizat la corectarea drumului (vezi cap. 8, § 3 și § 4), în scopul menținerii navei pe drumul trasat pe hartă.

În cazul în care vizibilitatea se reduce, conducerea navei se asigură folosind sonda, procedeele estimei şi ale navigaţiei electronice.

3 Guvernarea navei

În navigaţia costieră, multe sinistre au avut loc datorită guvernării navei într-un drum eronat, fie ca urmare a ţinerii unui drum greşit de către timonier, a unei erori în corecţia compasului sau a unei derive necorectate.

Guvernarea navei se asigură după drumul girocompas, comparat continuu cu drumul indicat de compasul magnetic. În fiecare drum, atunci când este posibil, se recomandă să se determine corecţiile compas Δg şi Δc (vezi cap. 25). Controlul continuu al drumului în care nava este guvernată trebuie să constituie una dintre preocupările principale ale ofiţerului de cart.

4 Executarea schimbărilor de drum

Schimbările de drum se recomandă a se executa în vederea unor repere de navigaţie.

Considerând că nava merge în drumul D şi în punctul Z, când farul A se vede la travers în relevment R, trebuie să se ia drumul D_1 (fig. 14-1).

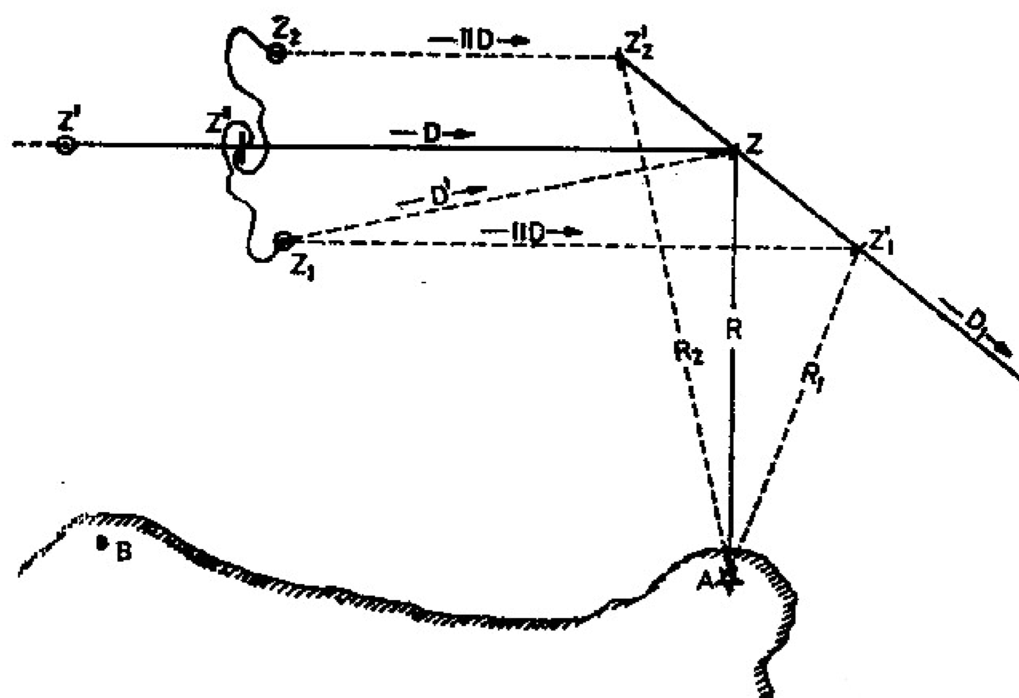


Fig. 14-1

Când nava se apropie de punctul de schimbare de drum Z, se procedează la controlul poziţiei navei. Dacă punctul determinat se află pe drumul D, de exemplu în Z', se continuă navigaţia în acelaşi drum până când nava ajunge în Z, unde se

întoarce în drumul D_1. *Momentul schimbărilor de drum se controlează după relevmentul compas și după indicațiile lochului, astfel*:

– se schimbă de drum când farul B se vede în relevmentul compas corespunzător lui R* (reprezentând pe hartă direcția ZA). *Se recomandă a se folosi pentru acest control relevmentul compas și nu relevmentul prova corespunzător* (în acest caz $Rp = 90°$), *dat fiind abaterile posibile de la drumul compas din momentul observației, care s-ar transmite integral ca eroare în Rp*;

– se schimbă de drum când citirea lochului cl_2 indică o distanță egală cu cl_1 (citirea la loch în punctul Z') mărită cu distanța $Z'Z$, deci: $cl_2 = cl_1 + Z'Z$. Dacă lochul are un factor de corecție f, în acest caz $cl_2 = cl_1 + \frac{Z'Z}{f}$ (vezi relația 5-9).

Dacă toate operațiunile enumerate au fost corect efectuate, indicațiile relevmentului compas și ale lochului trebuie să fie practic simultane, iar după schimbarea de drum, astfel executată, nava se află pe drumul D_1.

În cazul în care punctul determinat arată că nava se află în afara drumului $Z'Z$, în Z_1 sau Z_2, schimbarea de drum se execută astfel;

– când condițiile de navigație permit se continuă navigația în același drum D, pe direcția Z_1Z_1' (respectiv Z_2Z_2') și punctul Z_1' (respectiv Z_2') unde drumul D prelungit intersectează noul drum D_1, se schimbă de drum când farul A se vede în relevmentul compas corespunzător relevmentului R_1 (respectiv R_2), iar lochul indică $cl_2' = cl_1 + Z_1Z_1'$ (respectiv $cl_2 = cl_1 + Z_2Z_2'$);

– dacă condițiile de navigație nu permit aplicarea procedeului indicat, din Z_1 se ia drum D' spre Z, unde se schimbă de drum în D_1, când farul a se vede în relevment compas corespunzător relevmentului R, iar lochul indică $cl' = cl_1 + Z_1Z$. Procedeul este similar dacă nava s-ar afla în Z_2, spre larg.

După schimbarea drumului, în modul arătat mai sus, ofițerul de cart controlează personal corectitudinea drumului compas ținut de timonier și corespondența drumului indicat de compasul giroscopic cu cel magnetic; de asemenea, procedează la determinarea poziției navei prin observații costiere pentru a verifica dacă nava se află pe noul drum D_1.

§4 Navigația în treceri dificile

Conducerea navei în strâmtori, ape înguste și în general în treceri dificile se efectuează pe baza unui studiu amănunțit al condițiilor locale și stabilirea de măsuri speciale pentru siguranța navigației. Se utilizează hărți la scară mare sau chiar planuri, editate cât mai recent; trasarea drumului se face ținând seama de girația navei. În asemenea situații se impune prezența comandantului pe comandă, care preia personal conducerrea navei. Ofițerul de cart execută veghea de navigație și

---

* Când se lucrează pe o hartă la scară suficient de mare, schimbările de drum se trasează ținând seama de girația navei (vezi cap. 8, § 5).

procedează la determinarea continuă a poziției navei, informând pe comandant asupra eventualelor abateri de la drumul trasat pe hartă. Pe timpul nopții și în general în condiții de vizibilitate limitată, radarul aduce servicii prețioase siguranței navigației.

În practica navigației în treceri dificile, o singură linie de poziție judicios aleasă oferă posibilitatea unui control expeditiv pentru evitarea pericolelor.

1 Utilizarea unei singure linii de poziție pentru evitarea pericolelor de navigație

În zonele cu pericole de navigație (stânci submarine, epave, bancuri de adâncime redusă etc.), evitarea acestora se asigură prin determinarea precisă și continuă a poziției, precum și prin utlizarea judicioasă a unei singure linii de poziție, în funcție de situația de navigație. În anumite condiții, ultimul sistem poate prezenta avantajul asigurării evitării unui asemenea pericol printr-o simplă observație, executată cu rapiditate și repetată până când pericolul respectiv este depășit. În cele ce urmează redăm formele principale de utilizare a unei singure linii de poziție pentru evitarea pericolelor de navigație.

A Aliniamentul direcțional. Aliniamentul limită.

Când se impune navigația printr-o zonă dificilă și balizajul conține repere de poziții favorabile, ce constituie un aliniament în prova sau pupa navei; acesta oferă o linie de poziție care poate fi utilizată pentru evitarea pericolelor. Astfel, considerăm

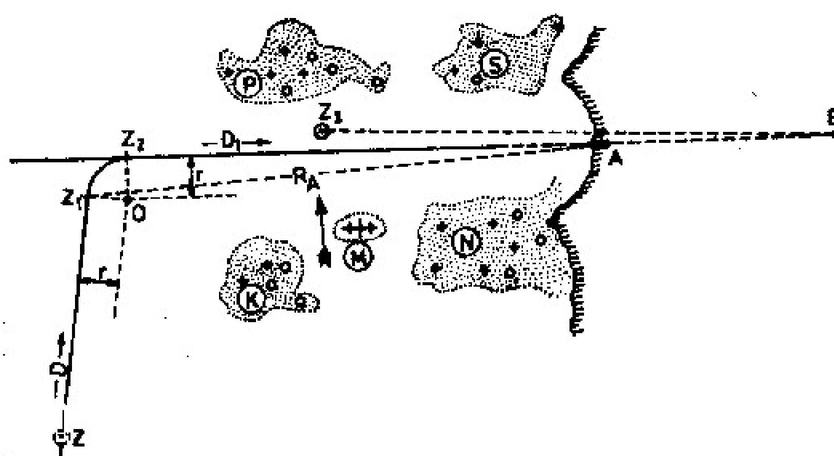


Fig. 14-2

că nava trebuie să execute apropierea de coastă evitând pericolele *K, M, N, P, S* (fig. 14-2); dacă la coastă se găsesc două repere *A* și *B* trecute pe hartă, de poziții favorabile, aliniamentul acestora poate servi navei ca linie de poziție pentru executarea apropierii.

Linia de poziție determinată de aliniamentele *A* și *B* se numește *aliniament direcțional* (leading line, leading lights, leading marks). Dacă nava va lua un drum deasupra fundului astfel ca să mențină cele două obiecte "în aliniament", se asigură

evitarea pericolelor. În cazul unei derive de vânt sau de curent, nava este scoasă din aliniament; se spune că "alinaimentul se deschide", iar sensul abaterii navei este cel în care se vede obiectul mai depărtat *B*, în raport cu *A*. Astfel, dacă la un moment dat obiectul *B* se vede pe direcția Z_3B, în stânga lui *A*, se spune că "aliniamentul se deschide la stânga". Pentru revenire în aliniament, drumul se corectează în sensul obiectului mai apropiat *A*, în exemplul dat – venind la dreapta. După revenire, nava se menține în aliniament aplicând drumului o corecție de derivă de același sens; mărimea acestei corecții se stabilește prin tatonare, până când se constată că nava menține aliniamentul. Experiența aduce o scurtare considerabilă a duratei acestei tatonări.

Precizia procedeului este funcție de sensibilitatea aliniamentului (vezi cap. 10, § 4, pct. 5).

De regulă, apropierea pentru intrarea în aliniament se face într-un drum orientat aproximativ paralel cu coasta. În exemplul dat (fig. 14-2), presupunem că acest drum este *D*; controlul momentului inițierii întoarcerii pentru intrarea în aliniamentul *AB* se face cu relevment la unul din cele două obiecte sau la un alt reper oarecare, situat cât mai aproape de travers, ținând seama de curba de girație a navei (vezi cap. 8, § 5, pct. 3), astfel:

– se determină punctul navei pentru a ne convinge că nava se află pe drumul de apropiere *D*. Dacă punctul *Z* obținut arată că nava se află pe drum, se trasează curba de girație a navei de rază *r*, cu centrul în *O* (aflat la interesecția paralelelor la *D* și D_1, duse în bordul întoarcerii la distanța *r* de acestea);

– punctul de tangență Z_1 al curbei de girație cu drumul *D*, respectiv piciorul perpendicularei coborâte din *O* pe *D*, reprezintă punctul în care trebuie inițiată întoarcerea;

– dacă se inițiază întoarcerea în Z_1, când reperul *A* este văzut în relevmentul R_A, în momentul în care se ajunge în Z_2, nava se află cu axa sa longitudinală în aliniamentul *AB*, în drumul D_1.

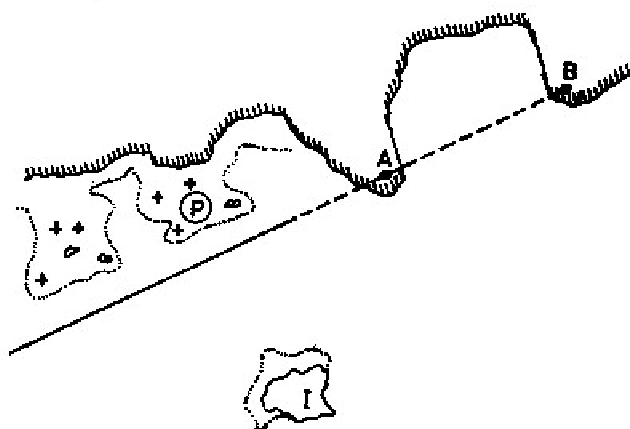


Fig. 14-3

Aliniamentul limită (clearing marks) se folosește pentru a indica limita unei zone periculoase. Astfel, de exemplu, dacă nava trebuie să se apropie de coastă urmând un drum între insula I și pericolele *P*, dreapta de poziția determinată de obiectele *A* și *B* constituie *aliniamentul limită* pentru evitarea pericolelor *P*, dinspre coastă. Rezultă că, atâta timp cât aliniamentul se menține "deschis la dreapta" nava este în afara pericolelor *P*; limita apropierii de acestea este constituită de aliniamentul *AB*.

B Relevmentul direcțional. Relevmentul limită.

Acolo unde balizajul de la coastă nu oferă un aliniament, funcția acestuia poate fi îndeplinită de relevmentul la un obiect. Considerăm că nava trebuie să se apropie de coastă în zona farului *A*, singurul reper în vedere; spre coastă se află pericolele *K* și *P* (fig. 14-4)

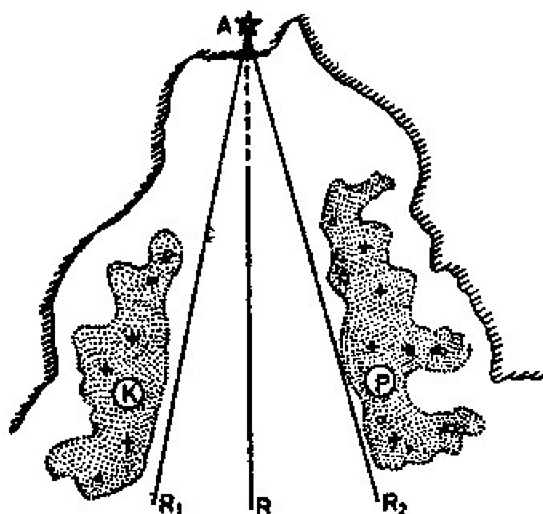


Fig. 14-4

Apropierea de coastă se poate executa în siguranța dacă nava ia drum cu prova pe *A*, de-a lungul *R*, denumit *relevment direcțional (line of bearing)*. Atâta tmp cât *A* este văzut în relevmentul compas corespunzător lui *R*, nava se află pe relevmentul direcțional; dacă nava are o derivă de vânt sau curent, reintrarea în relevmentul direcțional și menținerea pe el se fac în modul indicat pentru aliniamentul direcțional.

Relevmentul direcțional poate fi utilizat cu succes și dacă reperul este relevat în pupa navei.

Dacă în relevmentul direcțional la *A* se găsește un obiect oarecare în aliniament cu acesta, deși netrecut în hartă, acest "aliniament improvizat" poate servi pentru guvernarea navei.

Când există posbilitatea, se recomandă ca reperul A să fie ales la o distanță cât mai mică de navă; cu cât distanța la reper este mică de navă; cu cât distanța la reper este mai mică, cu atât abaterea laterală liniară corespunzătoare unei anumite variații unghiulare a relevmentului este mai redusă.

În cazul prezentat în figura 14-4, relevmentele R_1 și R_2 la *A* reprezintă relevmentele limită *(clearing bearings)* pentru apropierea de pericolele *K* și *P*. Atâta timp cât relevmentul măsurat la *A* va fi cuprins între limitele R_1 și R_2, nava se află în siguranță în raport cu pericolele *K* și *P*.

Pe hărțile engleze, relevmentele și aliniamentele direcționale sunt marcate printr-o linie continuă simplă sau dublă, pe porțiunea pe care apropierea se poate face în

siguranță; în continuare, spre coastă, linia este punctată. Se indică totodată valoarea relevmentului sau aliniamentului, de exemplu:

– „*line of bearing* 355°"

– „*lights in line* 84°20′(82°30′ Mag)"; în cazul aliniamentelor se indică și valoarea magnetică a acestora.

C Unghiul orizontal limită

În cazul existenței la coastă a două repere de navigație *A* și *B*, nava aflată în *Z* și având a se deplasa spre nord în afara pericolului *K* (fig. 14-5), poate executa evitarea acestuia cu ajutorul unui *unghi orizontal limită (horizontal danger angle).*

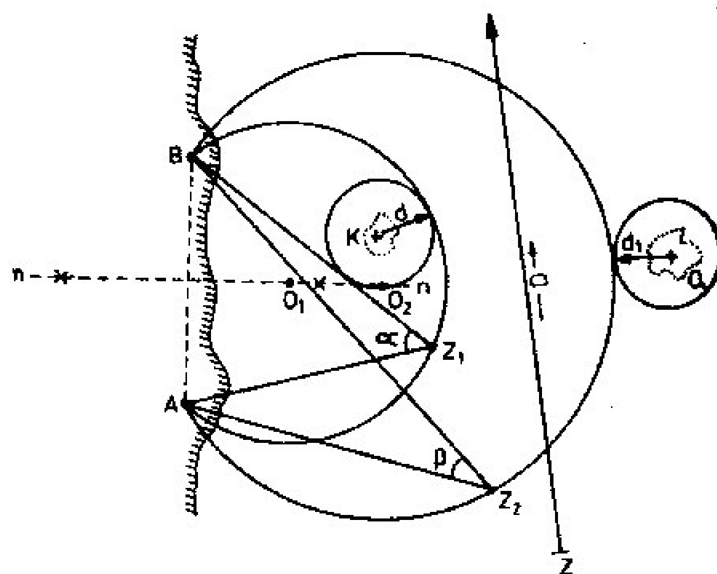


Fig. 14-5

Problema se rezolvă astfel:

– se duce un cerc de siguranță de rază *d* care să închidă zona periculoasă *K*;

– se construiește un arc de cerc capabil, exterior cercului de siguranță în jurul zonei periculoase *K*. Centru O_1 al acestui arc de cerc se află pe mediatoarea *mn* a segmentului *AB*;

– se măsoară unghiul orizontal α sub care se văd obiectele *A* și *B* dintr-un punct oarecare Z_1 al arcului de cerc capabil, de centru O_1.

Luând drumul *D* din *Z*, nava se află în afara pericolului *K*, atâta timp cât unghiul orizontal la *A* și *B* se menține mai mic decât α.

Dacă în zonă se află un al doilea pericol *Q* și nava trebuie să se deplaseze între cele două pericole *K* și *Q*, se contruiește și arcul de cerc capabil de unghiul orizontal limită β pentru evitarea acestuia, în mod similar. Nava urmând drumul *D* va fi în siguranță, atâta timp cât unghiul orizontal măsurat la *A* și *B* se menține mai mic decât α și mai mare decât β.

D Unghiul vertical limită

Evitarea unor pericole aflate la larg de reperul *A*, de înălțime cunoscută *H*, poate fi executată folosind unghiul vertical limită *(vertical danger angle)*.

Problema poate fi rezolvată astfel (fig. 14-6):

– se închide zona periculoasă într-un cerc de rază *d*, cu centrul în *A*;

– se calculează *unghiul vertical limită* α din formula:

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{H}{d \cdot 1852} \qquad (14\text{-}1)$$

dedusă din relația (13-3), în care *H* se exprimă în metri, d în mile marine și α se obține în minute arc. Formula (14-1) pentru calculul luiα este rezolvată de tabla 29-a din *Tablele Nautice MT – 53*, intrarea în tablă efectuându-se cu *H*, în metri, pe coloana "înălțimea obiectului", până se întâlnește valoarea lui *d* în Mm și se citește în stânga α.

Exemplu: Înălțimea obiectului *H* = 30 m, distanța de siguranță *d* = 4 Mm. Se cere unghiul vertical limită α.

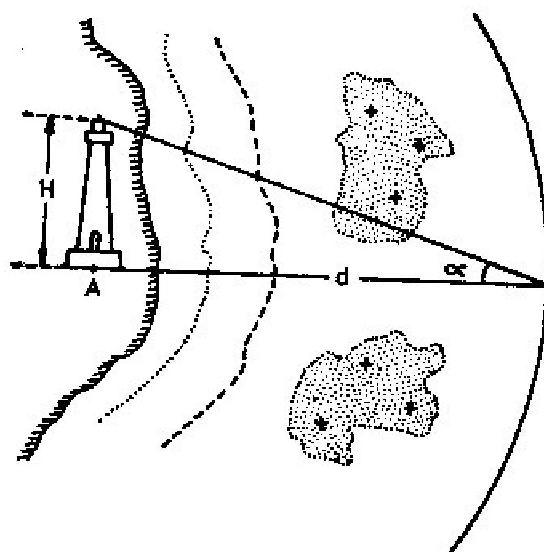


Fig. 14-6

Se intră în tabla 29-a, cu *H* = 30 m și *d* = 4.0 Mm, în felul arătat mai sus și se obține α = 14′.

Calculul lui α se mai poate face și din relația:

$$\alpha = \frac{13}{7} \cdot \frac{H}{d} \qquad 14\text{-}2)$$

dedusă din formula (13-4).

Folosind datele din exemplul de mai sus:

$$\alpha = \frac{13}{7} \cdot \frac{30}{4} = 14'$$

Navigând la larg de reperul A, nava se află în afara zonei periculoase atâta timp cât unghiul vertical măsurat la obiect este mai mic decât α.

E Linia batimetrică limită

Apropierea de pericolele L poate fi evitată prin măsurarea adâncimii apei (fig. 14-7). Considerând izobata de 10 braţe ca linie batimetrică limită, în timp ce

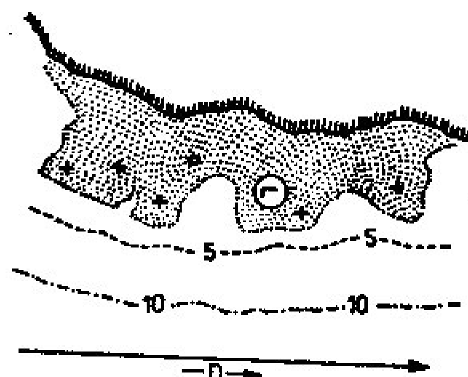


Fig. 14-7

nava îşi urmează drumul D, se procedează la măsurarea continuă a adâncimii apei cu sonda ultrason. Atâta timp cât adâncimile măsurate se menţin mai mari decât adâncimea limită de 10 braţe, nava se află în siguranţă.

2 Trasarea drumului

În treceri dificile, cu pericole de navigaţie, drumul se trasează ţinând seama de giraţia navei, pe hărţi la scară mare, corectate pentru toate informaţiile publicate în *avizele către navigatori*.

Atunci când este posibil se recomandă ca drumul să fie trasat de-a lungul unor aliniamente sau relevmente direcţionale, pentru a face posibilă o verificare continuă a menţinerii navei pe drum. De asemenea, funcţie de condiţiile de navigaţie se stabilesc liniile de poziţie limită pentru evitarea obstacolelor din zonă. În cele de mai sus s-au redat doar principiile de folosire a unei singure linii de poziţie pentru evitarea pericolelor; pe baza acestor principii, condiţiile concrete din zonă permit o serie de combinaţii, care pot juca un rol important în practica navigaţiei.

Momentul începerii giraţiei pentru executarea schimbărilor de drum se controlează în modul indicat mai sus la § 3, punctul 4, după relevmentul măsurat la un reper aflat cât mai aproape de travers.

Pentru exemplificare să considerăm situaţia de navigaţie redată în figura 14-8, în care pentru trecerea strâmtorii se dispune de reperele de navigaţie A, B, C. În această situaţie, trasarea drumuluii se execută astfel:

– se trasează drumul D_I de intrare în strâmtoare pe relevmentul direcţional R_A la reperul A;

– se trasează drumul D_2, pe relevmentul direcţional R_B la reperul B;

– se trasează curba de giraţie a navei de rază r pentru schimbarea de drum din D_1 în D_2. Întoarcerea la tribord se iniţiază în Z_1, în relevmentul R'_B la B;

– se trasează drumul D_3 de ieşire din strâmtoare, liber de orice pericol, astfel ca nava să se menţină în jumătatea din dreapta acesteia. Totuşi, apropierea de coasta din dreapta nu trebuie să fie excesivă; se lasă suficient spaţiu liber pentru evitarea navelor, prin abatere la dreapta;

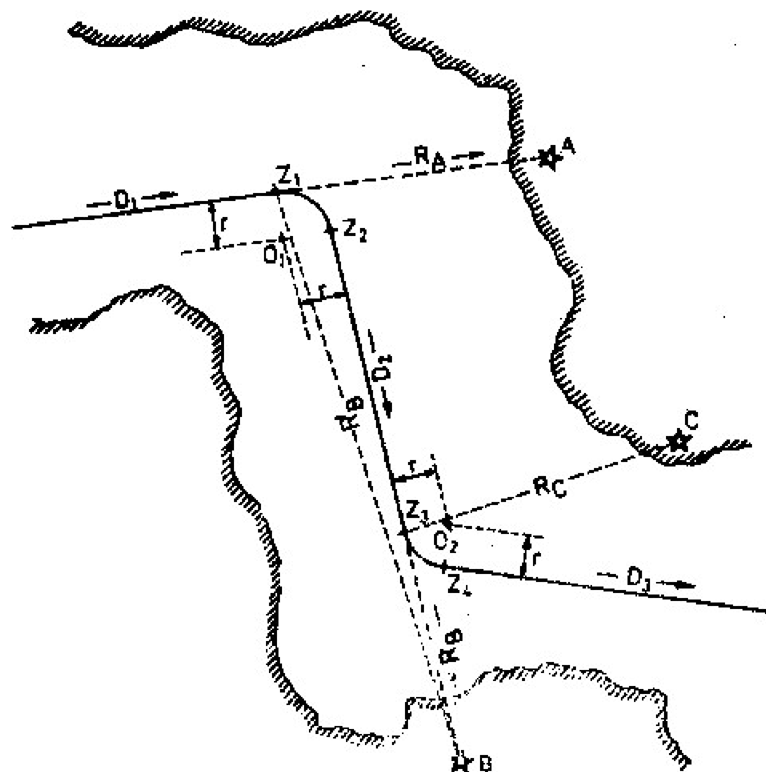


Fig. 14-8

– se trasează curba de giraţie a navei pentru schimbarea de drum din D_2 în D_3. Întoarcerea la babord se iniţiază în Z_3, în relevment R_C la C. În Z_4 nava intră în drumul D_3.

Desigur, exemplul de principiu dat are o valoare orientativă; condiţiile concrete din zonă, în final, vor determina soluţiile optime de adoptat.

§5 Ancorarea într-o poziţie determinată

Considerăm că nava execută apropierea într-un drum D_1, urmând să ancoreze în punctul Z (fig. 14-9), stabilit în funcţie de condiţiile locale, după criteriile ce stau la baza alegerii unui bun ancoraj. Conducerea navei pentru ancorare în poziţia dată se execută astfel:

– se alege un reper A care să ofere un relevment direcţional R_A, pe direcţia ZA, favorabil aterizării pe Z, şi un reper B plasat astfel încât să permită controlul apropierii de Z, prin relevmente la B sau unghiuri orizontale la A şi B;

– pe drumul D_2 de aterizare pe punctul Z determinat de relevmentul direcţional R_A, se stabileşte punctul Z_3 de "reducere a maşinii" şi Z_4, de "stopare a maşinii", la distanţele convenabil alese faţă de Z, funcţie de viteză, inerţia navei şi condiţiile hidrometeorologice existente, cu menţiunea că nava trebuie să execute apropierea cu

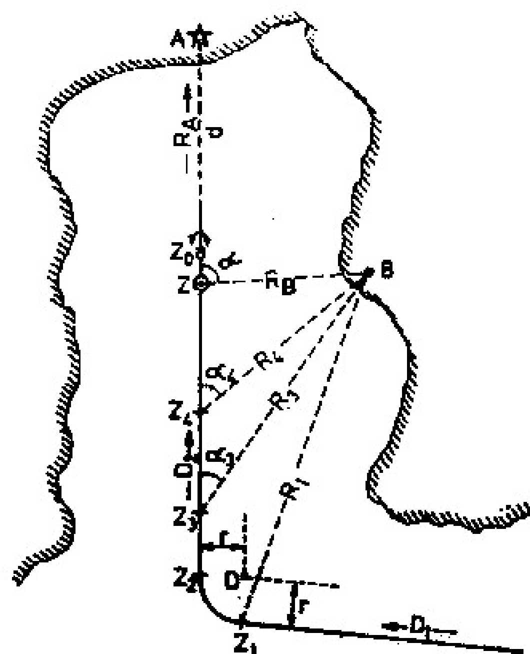


Fig. 14-9

o viteză rămasă suficientă, astfel ca să poată fi bine guvernată până în momentul fundarisirii ancorei;

– se iniţiază giraţia la tribord în Z_1, când B este văzut în relevmentul R_1, determinat prin trasarea curbei de giraţie a navei de rază r. În punctul Z_2 se termină giraţia, iar nava se află în drumul D_2 pe relevmentul direcţional R_A, cu prova pe A;

– când B este văzut în relevmentul R_3 sau se măsoară cu sextantul unghiul orizontal α_3 la A şi B, nava se află în Z_3 şi se ordonă maşina "încet înainte!" sau "foarte încet înainte!";

– în relevmentul R_4 la B sau când unghiul orizontal la A şi B este α_4, nava se află în Z_4 şi se ordonă "stop maşina!";

– eventuala derivă a navei cauzată de curent sau vânt, care se manifestă progresiv odată cu reducerea vitezei navei, se elimină prin corectarea drumului, astfel ca nava să se menţină pe relevmentul direcţional la A;

– guvernarea navei după intrarea în drumul D_2 poate fi considerabil uşurată, dacă se găseşte la uscat un obiect oarecare, netrecut în hartă, care să determine un "aliniament improvizat" cu A, în relevmentul direcţional R_A;

– în momentul în care B este văzut în R_B sau A şi B sunt văzute sub unghiul orizontal α, nava se află în Z; se "pune maşina înapoi" şi se fundariseşte ancora.

Z reprezintă punctul punţii de comandă, de unde se măsoară relevmentul R_B sau unghiul α. Punctul în care ancora este fundarisită se află în Z_0, situat la o distanţă de

Z egală cu spaţiul ce separă prova de puntea de comandă, în relevmentul direcţional la A sau în drumul în care se găsea nava în momentul fundarisirii ancorei; această distanţă este mare îndeosebi la navele construite în sistemul "totul la pupa".

În executarea practică a manevrei se recomandă ca "maşina să fie pusă înapoi" înainte ca nava să ajungă în Z, astfel ca să se reducă viteza rămasă a navei şi să se prevină forţarea instalaţiei de ancorare; momentul se determină tot prin observarea relevmentului la B, respectiv a unghiului orizontal la A şi B. Momentul "opririi navei" este indicat de observarea *curentului respins al elicii, când acesta ajunge spre centrul navei.*

În cazul în care la uscat nu se găseşte decât un reper direcţional A, problema se rezolvă în mod similar, cu diferenţa că apropierea de Z se controlează cu sextantul, prin observarea unghiului vertical sub care se vede A la distanţele Z_3A, Z_4A şi ZA; unghiul vertical se calculează cu una din formulele 14-1 sau 14-2, funcţie de aceste distanţe şi înălţimea H a reperului.

§6 Sistemul rutelor de navigaţie

1 Necesitatea sistemului. Reglementări.

Pericolul de coliziune şi cel de eşuare, cu consecinţe nefaste – pierderi de vieţi omeneşti, de însemnate bunuri materiale, poluarea mediului marin şi a coastelor cu hidrocarburi sau alte substanţe nocive – s-au amplificat considerabil ca urmare a dezvoltării flotei mondiale, precum şi a creşterii impresionante a tonajului şi vitezei navelor.

Conducerea navelor de mare tonaj impune o atenţie deosebită împotriva riscului de coliziune. Inerţia, diametrul curbei de giraţie, timpul şi distanţa parcursă până la oprire după "punerea maşinii înapoi" cresc considerabil la aceste nave* faţă de cele clasice. După "punerea maşinii înapoi", în scopul opririi navei pentru evitarea unui abordaj, efectul evolutiv al elicii se manifestă puternic, fără a mai exista deci posibilitatea unui control asupra drumului de urmat. În aceste condiţii, manevra de evitare trebuie stabilită în mod judicios şi iniţiată la distanţă mare, prevenirea riscului de abordaj devenind o problemă grea, de mare răspundere, în zonele cu aglomeraţii de nave.

O altă particularitate a navigaţiei la navele de mare tonaj, în zona costieră, o constituie necesitatea unor măsuri deosbite împotria pericolului de lovire a fundului mării ca urmare a ruliului, tangajului, înclinărilor transversale la giraţii, precum şi a afundării navei odată cu creşterea vitezei. În această ordine de idei, este suficient de arătat că tangajul de 1°, la o navă cu lungimea de 400 m, are drept consecinţă creşterea pescajului cu 3.50 m, prin afundarea alternativă a provei şi a pupei, ceea ce poate reprezenta foarte mult în zonele de navigaţie cu adâncimi mici. Această

---

* Pentru edificare, cităm rezultatele probei *opririi de emergenţă* la un tanc de 200000 tdw. În vederea efectuării probei, nava mergea în Da = 0°, viteza 14.8 Nd şi s-a ordonat „toată viteza înapoi". Nava a fost oprită după 17 minute, distanţa parcursă 1.75 Mm, în Da = 135°; sub efectul evolutiv al elicii la mers înapoi, nava s-a abătut deci tribord cu 135°.

particularitate impune alegerea unor drumuri de navigaţie care să asigure o rezervă suficientă de adâncime a apei sub chila navei, pe care nava să fie menţinută apoi cu atenţie, printr-un control continuu şi precis al poziţiei.

Inaccesibilitatea canalelor Suez, Panama şi Kiel pentru navele depăşind anumite limite de pescaj şi constrângerea acestora de a urma diferite drumuri ocolite, a condus la creşterea traficului în zonele costiere obligatorii de trecere.

Factorii de risc amintiţi mai sus au impus căutarea unor măsuri pentru creşterea siguranţei navigaţiei maritime în zonele cu trafic intens. În acest context, *Conferinţa internaţională pentru ocrotirea vieţii umane pe mare,* ţinută la Londra sub auspiciile IMCO în anul 1960, a propus crearea unui *sistem de rute de navigaţie* obligatorii în locurile cu aglomeraţii de nave, astfel încât traficul să se desfăşoare pe *culoare* de sens unic, despărţite prin *zone de separaţie,* evitându-se astfel apropierea navelor pe drumuri convergente sau întâlnirile pe drumuri opuse.

La 20 noiembrie 1973, IMCO a adoptat *Rezoluţia* A. 284 (VIII) care reglementează *sistemul rutelor de navigaţie (routeing systems)* în zonele dificile de navigaţie, cu trafic intens.

2 Sistemul rutelor de navigaţie. Terminologie şi simboluri

Sistemul rutelor de navigaţie vizează creşterea siguranţei navigaţiei în zonele costiere obligatorii de trecere cu un trafic intens, unde:

– spaţiul de manevră a navelor este restrâns;

– există pericole de navigaţie;

– adâncimile sunt limitate, pentru toate navele sau numai pentru anumite categorii de nave;

– condiţiile hidrometeorologice sunt nefavorabile.

Rutele de navigaţie se stabilesc de IMCO; în zona apelor teritoriale instituirea unor asemenea măsuri se face cu acordul statului riveran.

Obiectivele urmărite în realizarea unei rute de navigaţie sunt funcţie de particularităţile condiţiilor din zonă, cât şi ale traficului de nave (densitate, tipuri de nave, orientarea drumurilor etc.)...), şi sunt, în principal, următoarele:

– dirijarea traficului pe *culoare de trafic* de sens unic, despărţite prin zone de separaţie, în scopul prevenirii riscului de abordaj la apropierea pe drumuri opuse sau convergente (fig. 14-10);

– simplificarea fluxului de trafic în zonele unde drumurile navelor converg spre un anumit punct (staţii de pilotaj, intrări în porturi, pe fluvii etc...);

– ordonarea traficului în zonele de explorare sau exploatare a subsolului mării, în scopul prevenirii riscului de coliziune cu platformele de foraj şi/sau cu navele speciale ce le deservesc;

– separarea traficului costier, format din nave mici ("costiere"), de cel al navelor de larg;

– reducerea riscului de lovire a fundului sau de punere pe uscat pentru navele de pescaj mare, în zonele de adâncimi limitate sau nesigure;

– asigurarea de rute speciale pentru navele ce transportă anumite mărfuri periculoase, care prezintă risc de poluare, de explozie etc. ...;

– orientarea fluxului de trafic astfel încât să se evite zonele de pescuit.

Acolo unde separarea traficului nu este necesară sau posibilă, se pot institui *drumuri recomandate (track)* de sens unic sau în ambele sensuri, balizate sau nebalizate.

În toate cazurile, în zona rutelor de navigație, statul riveran este obligat să asigure un balizaj suficient și eficient pentru aplicarea procedeelor de navigație costieră, radiogoniometrică și cu ajutorul radarului, astfel ca navele să poată urma cu precizie drumurile stabilite, printr-un control continuu al poziției.

Figura 14-10 reprezintă un exemplu orientativ de separare a traficului într-o strâmtoare.

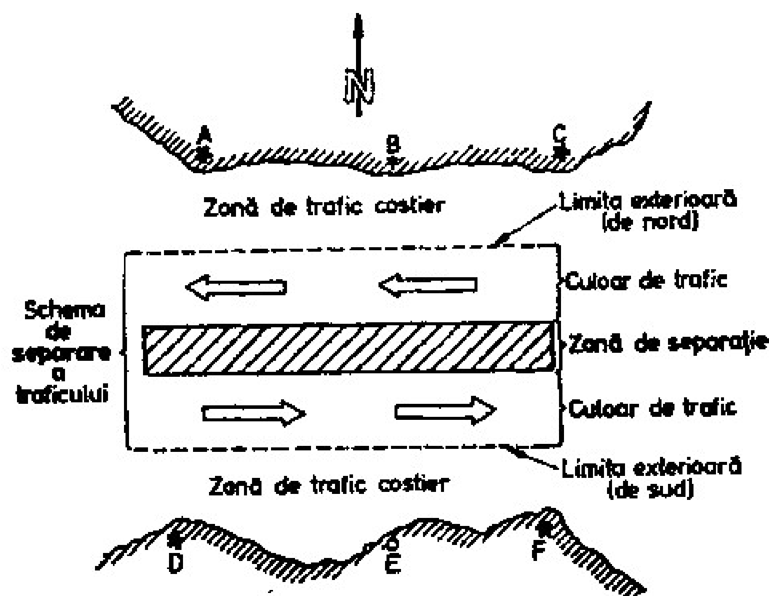


Fig. 14-10

Culoarele de trafic cu sens unic, indicat prin săgeți, sunt despărțite de o zonă de separație, în care nu se navigă. Navele care trec prin strâmtoare sunt obligate să navige în interiorul culoarelor de trafic, în sensul indicat de săgeți, lăsând zona de separație la babord. Zonele dintre limitele exterioare ale culoarelor și coastă sunt destinate traficului navelor costiere.

După instituirea de către IMCO a unui sistem de navigație, acesta este publicat în hărțile de navigație ale zonei și în *cărțile pilot*, folosind terminologia pe care o prezentăm în continuare.

Sistemul rutei de navigație (*routeing system*). Este un complex de măsuri privind rutele ce trebuie urmate de nave în scopul reducerii riscului de accidente de navigație; include *schemele de separare a traficului, rutele în ambele sensuri, drumurile recomandate, zonele de trafic costier, rutele de apă adâncă* și *zonele de evitat*.

Schemele de separare a traficului (*trafic separation scheme)*. Este o schemă care separă traficul ce se desfășoară în sensuri opuse sau aproape opuse, prin folosirea unei *zone* sau *linii de separație* și a unor *culoare de trafic* sau alte mijloace (fig. 14-10).

Zonă sau linie de separație (separation zone or line). Este o zonă sau o linie ce separă traficul care se desfășoară în sensuri opuse sau aproape opuse. *O zonă de separație* mai poate fi folosită și pentru separarea unui *culoar de trafic* de *zona de trafic costier* adiacentă (fig. 14-11 *c* și 14-11 *d*).

Conținutul	Simbolul
a - Limita exterioară a culoarului de trafic, rutei în ambele sensuri și a zonei de trafic costier	
b - Limita exterioară a zonei de sens giratoriu	
c - Zonă de separație	
d - Linie de separație	
e - Centrul zonei de sens giratoriu, fără zonă de separație în interior	
f - Săgeți indicînd direcția fluxului de trafic	
g - Limita „zonei de evitat" de către navele de o anumită categorie	
h - Limita „zonelor de explorare și/sau exploatare a subsolului mării", care pot fi periculoase pentru navigație	
i - Drum recomandat balizat	
j - Drum recomandat nebalizat	
k - Limita exterioară a rutei de apă adîncă (dacă este indicată)	
l - Rută de apă adîncă atunci cînd ambele limite exterioare sînt indicate (DW, *deep water*)	DW DW
m - Rută de apă adîncă balizată (DW, *deep water*)	DW DW DW DW
n - Direcția fluxului de trafic pe o rută de apă adîncă nebalizată (DW, *deep water*)	DW DW DW DW

Fig. 14-11

Culoar de trafic (*traffic lane*). Este o arie delimitată în interiorul căreia trebuie să se desfăşoare traficul de sens unic (fig. 14-10).

Zonă de sens giratoriu (roundabout). Este o arie circulară delimitată, în care traficul se desfăşoară în sens invers acelor unui ceasornic, în jurul unui anumit punct sau arii (fig. 14-16).

Zonă de trafic costier (*inshore traffic zone*). Este aria cuprinsă între limita exterioară a unei scheme de separare a traficului şi coastă, destinată navigaţiei navelor costiere (fig. 14-10).

Rută în ambele sensuri (*two-way route*). Este o arie delimitată în interiorul căreia traficul se desfăşoară în ambele sensuri. Navele ce folosesc asemenea rute trebuie să se menţină cât mai aproape de limita din tribord.

Drum recomandat (*track*). Este drumul ce se recomandă a fi urmat între două poziţii determinate. Drumul recomandat poate avea un balizaj propriu (fig. 14-11 *i*) sau să nu fie marcat (fig 14-11 *j*).

Rută de apă adâncă (deept water route). Este o rută într-o zonă delimitată, în interiorul căreia s-a efectuat o supraveghere atentă pentru identificarea pericolelor de navigaţie, cu indicarea adâncimii minime a apei (fig. 14-11 *l*, 14-11 *m* şi 14-11 *n*). O asemenea rută este destinată navelor de pescaj mare, comparat cu adâncimile zonei din afara rutei de apă adâncă.

Înscrierea rutelor de navigaţie în hărţile marine, pe baza publicaţiilor IMCO, se face folosind simbolurile din figura 14-11, recomandate de către *Organizaţia internaţională de hidrografie*.

3 Metode de separare a traficului maritim

Metode de stabilire a sistemului rutelor de navigaţie, în scopul separării traficului este determinată de particularităţile de navigaţie ale zonei, cât şi de cele ale traficului. În funcţie de aceste criterii, *Rezoluţia* IMCO privind sistemul rutelor de navigaţie stabileşte următoarele metode pentru separarea traficului;

A. *Prin zone sau linii de separaţie* (fig. 14-12)

În asemenea cazuri, separarea traficului se realizează prin stabilirea unei zone *(2)* sau linii *(1)* de separaţie între fluxurile de trafic *(4)*, ce se desfăşoară în sensuri opuse sau aproape opuse. Limite exterioare *(3)* ale unei asemenea scheme se confundă cu limitele culoarelor de trafic, de sens unic.

Lăţimea şi lungimea zonelor de separaţie cât şi ale culoarelor de trafic se detemină după o examinare atentă a condiţiilor locale, a densităţii şi a componenţei

traficului, a particularităţilor meteorologice şi hidrografice, spaţiului de manevră disponibil etc. În toate situaţiile se caută ca lungimea rutei să fie redusă la minimum

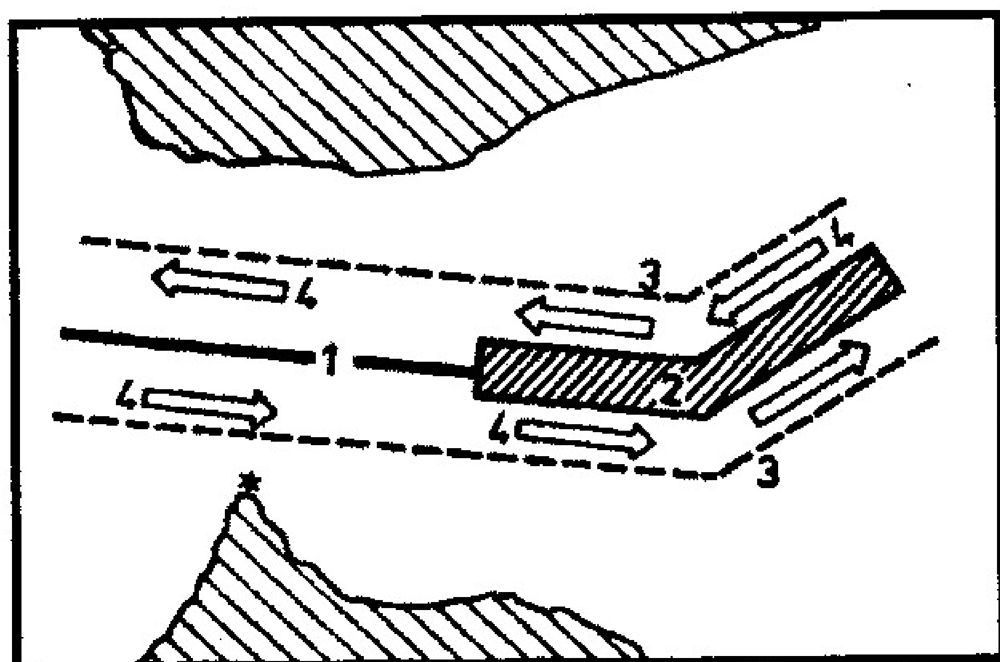
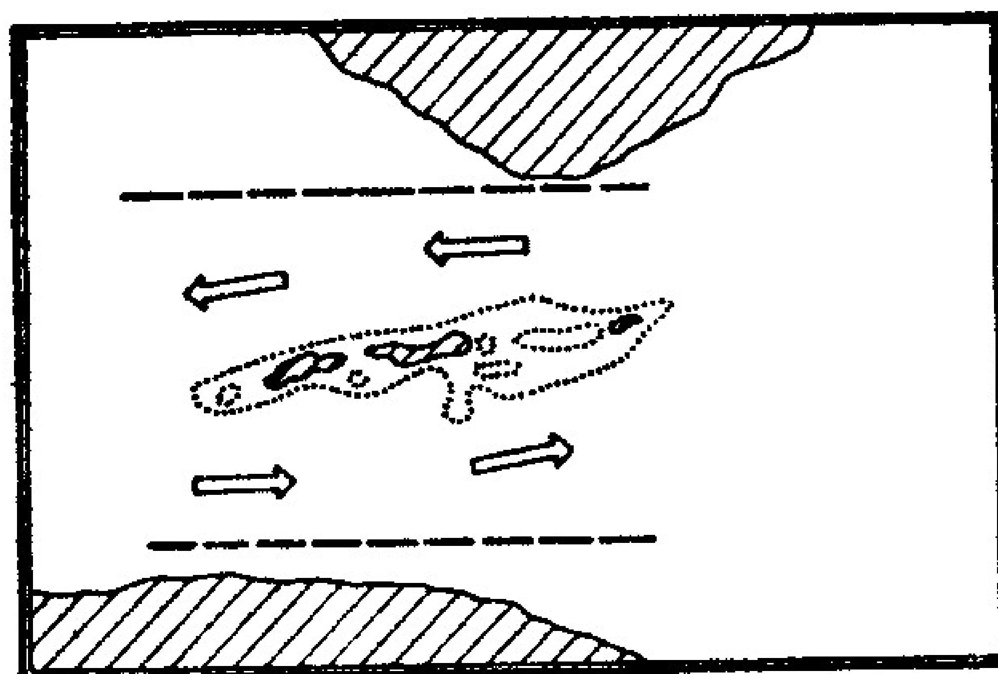


Fig. 14-12

necesar. În apele înguste este de preferat ca despărţirea fluxurilor de trafic să se facă printr-o linie de separaţie, în locul folosirii zonei de separaţie, astfel ca să se poată rezerva un spaţiu mai larg pentru culoarele de trafic.

B Prin obstacole naturale şi obiecte definite geografic (fig. 14-13).


Fig. 14-13

Această metodă este folosită în zonele definite prin obstacole –insule, stânci vizibile la suprafaţa apei etc. – care delimitează aria navigabilă şi constituie, în acelaşi timp, mijloace naturale de separare a fluxurilor de trafic de sensuri opuse.

C Prin zone de trafic costier (fig. 14-14).

Aplicarea acestei metode asigură menţinerea traficului costier, de direcţii diferite, în afara schemei de separare a traficului destinată navelor ce navigă la larg.

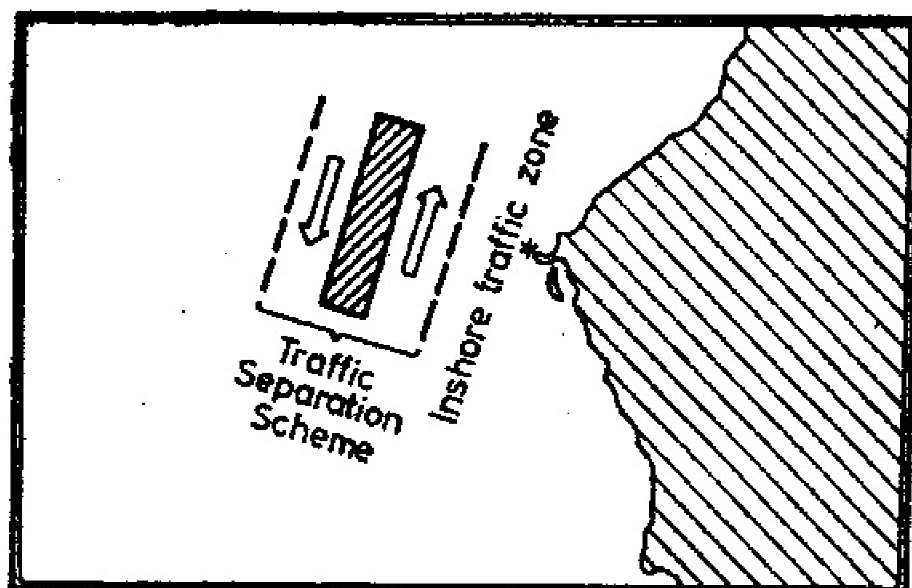


Fig. 14-14

D Prin sectoare, în apropierea punctelor de convergenţă a traficului (fig. 14-15).

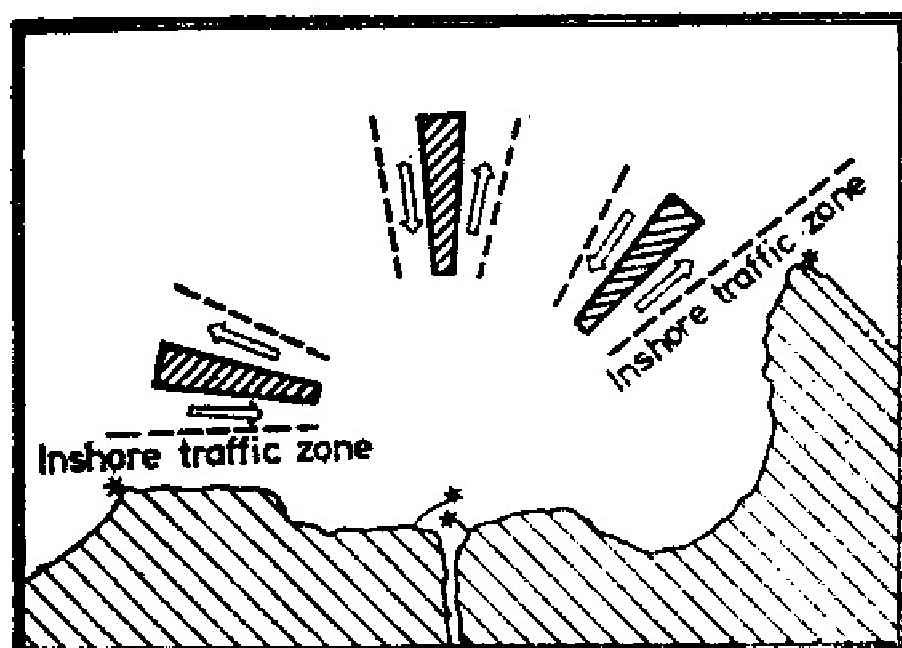


Fig. 14-15

Această metodă se aplică în zonele unde drumurile navelor converg spre un anumit punct sau arie restrânsă. Asemenea situații se întâlnesc frecvent la apropierea pentru intrarea în porturi, de stațiile de piloți, geamanduri și nave far de aterizare etc.

Numărul culoarelor de trafic, dimensiunile și direcțiile lor se stabilesc în funcție de condițiile locale.

E Prin zone de sens giratoriu (fig. 14-16).

În scopul de a facilita navigația în ariile de convergență unde se întâlnesc mai multe scheme de separare a traficului, navele trebuie să urmeze direcții în sens invers

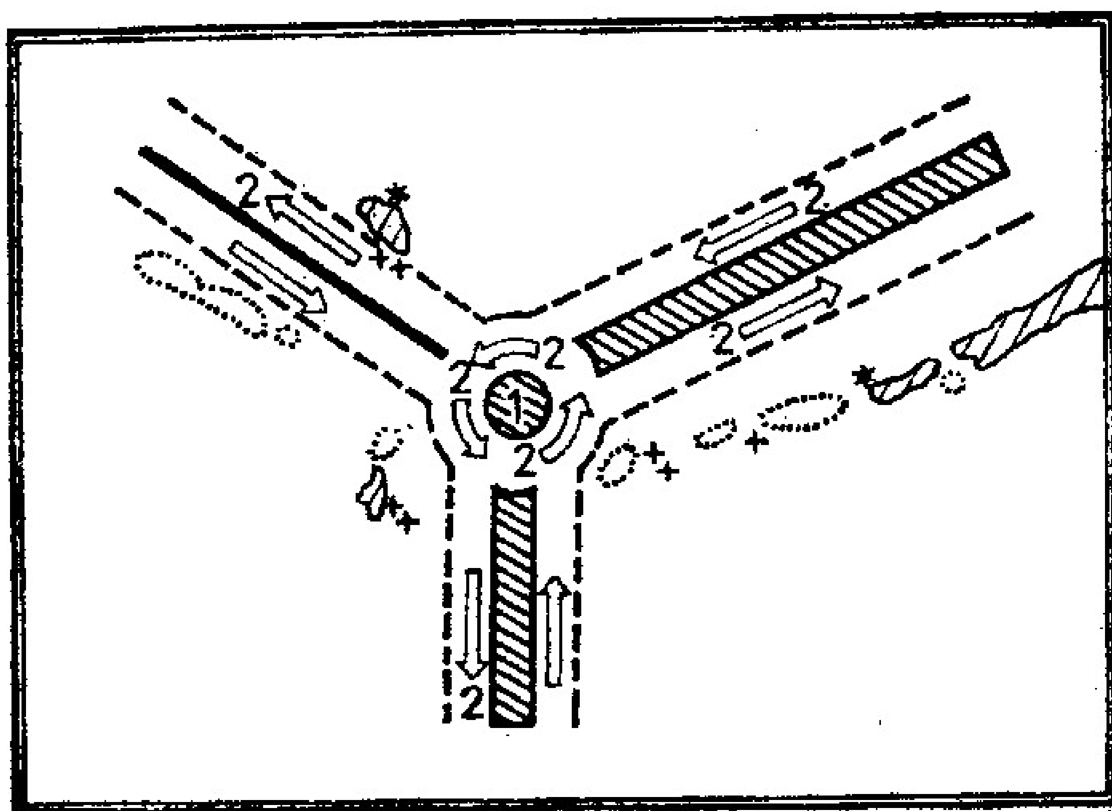


Fig. 14-16

acelor ceasornicului *(2)* în jurul unui anumit punct (de regulă balizat) sau a unei zone de sens giratoriu *(1)*, până se ajunge în dreptul culoarului de transfer dorit, în care se intră prin girație la tribord.

F Prin rute de apă adâncă, rute în ambele sensuri sau drumuri recomandate,

Pentru navele care se deplasează în anumite direcții, între puncte de poziții determinate.

4 Conducerea navei în sistemul rutelor de navigaţie

Sistemul este destinat navigaţiei pe orice vreme, ziua şi noaptea, în ape lipsite de gheţuri sau cu condiţii uşoare de gheaţă, unde nu sunt necesare manevre deosebite din această cauză sau nu se impune existenţa spărgătoarelor de gheaţă. În mod normal, rutele de navigaţie stabilite se folosesc de către toate navele; în cazul unor limitări sau restricţii pentru anumite categorii de nave, indicaţiile respective sunt conţinute în publicaţiile IMCO de instituire a rutei, care se fac cunoscute prin *avizele către navigatori*.

O rută de apă adâncă este destinată navigaţiei navelor de pescaj mare, care din această cauză nu pot urma în siguranţă alte drumuri din zonă.

În scopul prevenirii aglomerării acestor rute, ţinând seama de faptul că ele sunt folosite de navele mari cu calităţi manevriere mai reduse, se recomandă evitarea lor de către categoriile de nave ale căror pescaje permit navigaţia pe alte drumuri din zonă.

Conducerea navei în aria acoperită de o schemă de trafic se face prin respectarea Regulamentului internaţional pentru prevenirea abordajelor pe mare – 1972, precum şi a următoarelor reguli particulare* :

– se navigă în direcţiile indicate prin săgeţile fluxului de trafic ale culoarului. Săgeţile marcate pe hărţile de navigaţie indică direcţia generală a traficului şi ca urmare, navele nu sunt obligate să menţină cu stricteţe drumul deasupra fundului de-a lungul acestora;

– drumul urmat se menţine în afara zonei sau liniei de separaţie a traficului, care se lasă în bordul babord;

– intrarea şi ieşirea dintr-un culoar de trafic se fac normal, pe la extremităţile acestuia. Dacă această indicaţie nu se poate aplica şi intrarea sau ieşirea se face prin intersectarea limitei exterioare a unui culoar, drumul navei se alege de un unghi cât mai mic posibil faţă de direcţia generală a fluxului de trafic;

– se evită pe cât posibil traversarea culoarelor de trafic. În cazul în care însă o asemenea manevră este necesară, se ia un drum cât mai apropiat de normala la direcţia generală a fluxului de trafic. Această soluţie reduce la minimum durata traversării schemei de trafic şi oferă alura optimă pentru identificarea şi executarea manevrei de evitare;

---

* Stabilite prin *Rezoluţia* IMCO A. 284 (VIII)/1973.

– în mod normal este interzisă intrarea în zona de separaţie a schemei sau intersectarea liniei de separaţie. Fac excepţie de la această regulă: navele care traversează schema de separare a traficului; navele aflate într-o stare de emergenţă, în scopul de a preveni un pericol imediat; navele care intră în zona de separaţie cu scopul de a pescui;

– se recomandă ca navele maritime destinate navigaţiei la larg să evite folosirea zonelor de trafic costier;

– se va evita pe cât posibil ancorarea în aria acoperită de schema de separare a traficului, cât şi în apropierea terminaţiilor acesteia;

– se recomandă ca navele care nu folosesc schema de separare a traficului să se menţină cât mai departe posibil în afara acesteia.

Codul internaţional de semnale a fost prevăzut cu semnalul "YG", cu semnificaţia: "Dvs. nu vă conformaţi prevederilor schemei de separare a traficului", ce se adresează navelor care nu respectă regulile de navigaţie menţionate mai sus.

Menţinerea navei în limitele culoarelor de trafic şi de-a lungul drumurilor recomandate se asigură printr-un control continuu al poziţiei navei, folosind procedeele care oferă cea mai mare precizie. Aşa cum s-a arătat mai sus, statul riveran al zonei acoperite de o schemă de separare a traficului este obligat să asigure existenţa balizajului necesar, cel puţin pentru aplicarea procedeelor de navigaţie costieră, radiogoniometrică şi cu ajutorul radarului.

5 Supravegherea sistemului rutelor de navigaţie

Introducerea sistemului rutelor de navigaţie într-o serie de zone maritime, îndeosebi în strâmtori, unde condiţiile de navigaţie sunt dificile şi traficul intens (strâmtorile Calais, Gibraltar, Malacca etc.) a demonstrat eficienţă, conducând la reducerea accidentelor de navigaţie. Pentru a întări autoritatea *rezoluţiilor* IMCO în acest domeniu, regulile de navigaţie în sistemul de separare a traficului au fost legiferate într-o serie de ţări maritime, începând din anul 1977, instituindu-se totodată şi anumite servicii de supraveghere.

Spre exemplificare, redăm câteva date privind serviciul de supraveghere a sistemului de separare a traficului în strâmtoarea Calais. În zona maritimă cuprinsă între partea de vest a canalului Mânecii şi intrarea pe Elba, caracterizată prin condiţii de navigaţie dificile şi un trafic de foarte mare densitate, au loc peste jumătate din coliziunile produse în întreaga lume. Din această zonă, aria strâmtorii Calais s-a

dovedit a prezenta cei mai mari factori de risc, atât pentru coliziuni, cât şi pentru eşuări.

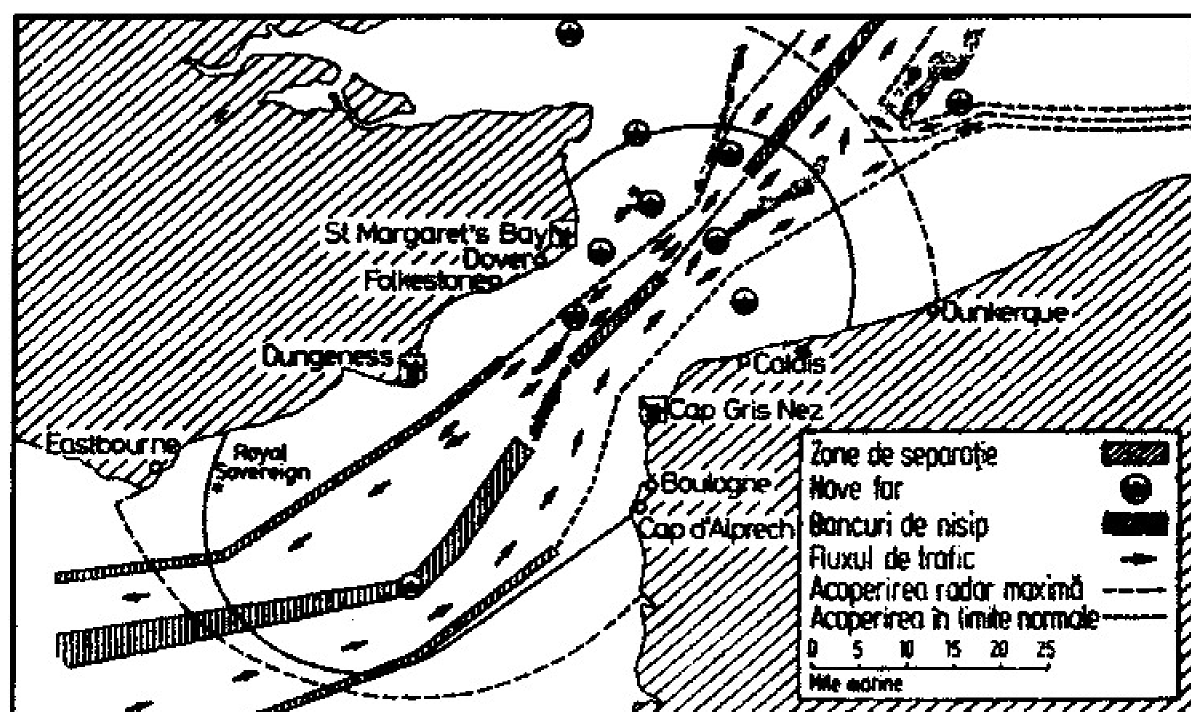


Fig. 14-17

În condiţiile hidrografice şi meteorologice dificile ce o caracterizează, în anul 1977 de exemplu, această strâmtoare a fost trecută zilnic de peste 300 nave oceanice şi traversată de circa 250 feriboturi, între coastele Angliei şi Europei, situaţie de trafic ce pune probleme foarte serioase pentru siguranţa navigaţiei.

Strâmtoarea Calais (Dover Strait) este prima zonă maritimă în care s-a instituit un sistem de separare a traficului (fig. 14-17). Începând din iulie 1977 s-a organizat un *serviciu de supraveghere a traficului* din strâmtoare, cu bazele la St. Margaret's Bay, pe coasta Angliei şi la Cap Gris Nez, pe coasta Franţei, având la dispoziţie trei staţii radar amplasate la Dungeness, St. Margaret's Bay şi Cap Gris Nez. Comunicaţiile sunt asigurate în radiotelefonie.

Sarcina acestui serviciu este de a supraveghea continuu fluxul de trafic, de a informa navele asupra pericolelor de navigaţie, precum şi de a identifica navele ("rogues") care încalcă regulile de navigaţie privind separarea traficului. La intervale regulate de timp se transmit prin radio informaţii privind: situaţia navelor aflate în pericol, evoluţia intervenţiilor de salvare, nave cu avarii ancorate în culoarele de trafic, remorcaje, geamanduri sau nave far derivate din poziţiile lor, coliziuni, eşuări, scufundări etc.

Identificarea navelor care încalcă regulile de separare a traficului se face cu elicoptere, avioane și nave de patrulare; dintre acestea, se pare că elicopterele dovedesc cea mai mare eficiență.

Pentru navele care traversează culoarele de trafic, se consideră că acestea sunt în limitele admise de regulile specifice de navigație, dacă drumul lor diferă cu maximum ± 20° față de normala la direcția fluxului de trafic.

Deși serviciul de supraveghere radar al acestei zone a fost inițiat destul de recent, experiența perioadei relativ reduse care a trecut îi demonstrează înalta eficiență în slujba creșterii siguranței navigației, pledând convingător pentru extinderea sistemului și în alte locuri.

PARTEA A PATRA
Navigația astronomică

Sfera cerească. Triunghiul sferic de poziție
Mișcarea diurnă a sferei cerești
Mișcările aparente ale aștrilor și sistemului solar
Timpul și măsurarea lui
Calculul unghiului la pol, al declinației și al orei culminației aștrilor
Măsurarea și corectarea înălțimilor aștrilor
Identificarea aștrilor
Calculul separat al latitudinii și longitudinii
Determinarea punctului navei cu observații astronomice
Probleme ajutătoare de navigație astronomică

PART IV
Astronomical navigation

The celestial sphere. Spherical triangle of position
Apparent motion of the celestial sphere
Apparent motion of heavenly bodies of the Solar System
Time and its measurement
Calculation of the local hour angle, declination and time of meridian passage of the heavenly bodies
Sextant altitude and its corrections
Identification of planets and stars
Latitude and longitude from astronomical observations
The MARCQ ST. HILAIRE or „Intercept“ method
Additional astronomical problems

15 SFERA CEREASCĂ. TRIUNGHIUL SFERIC DE POZIŢIE

§1 Sfera cerească şi elementele ei

Observarea cerului dintr-un punct oarecare de pe suprafaţa Pământului lasă impresia că are aspectul unei calote sferice. Pe timpul zilei, aceasta pare albastră, iar lumina Soarelui împiedică vederea şi a altor aştri; în anumite condiţii se pot observa doar Luna şi planeta Venus. Pe timpul nopţii, bolta cerească se vede presărată cu numeroşi aştri; în realitate, cu ochiul liber se văd aproximativ 6 000 stele, 6 planete şi Luna.

Această calotă sferică poate fi practic asimilată cu o emisferă. Imaginea de sferă este generată de incapacitatea observatorului de a sesiza în spaţiu distanţele radiale la aştri; aceasta face ca observatorul terestru să vadă aştrii ca şi cum ar fi situaţi la aceeaşi distanţă, proiectaţi pe suprafaţa interioară a unei sfere de rază infinit de mare, având centrul în ochiul observatorului, numită *sfera cerească.*

Considerăm un observator în punctul O pe sfera terestră şi reprezentăm sfera cerească concentrică şi exterioară acesteia (fig. 15-1). Elementele sferei cereşti, în raport de care se determină poziţiile aştrilor, se obţin ca proiecţii ale punctelor, liniilor şi planelor principale de pe sfera terestră folosite de observator pentru orientarea pe mare (vezi cap. 2).

Astfel prelungind verticala locului OC, ea înţeapă sfera cerească în punctul Z, numit *zenit* şi Na, numit *nadir;* linia ce uneşte cele două puncte se numeşte *linia zenit-nadir.*

Planul perpendicular pe linia zenit-nadir ce trece prin centrul sferei terestre se numeşte *orizont astronomic al observatorului;* acest plan intersectează sfera cerească după un cerc mare (N, E, S, W).

Dat fiind mărimea neînsemnată a razei sferei terestre în raport cu raza sferei cereşti, pentru orientarea pe sfera cerească, precum şi în efectuarea anumitor calcule de navigaţie astronomică, Pământul se consideră redus la un punct situat în ochiul observatorului; în acest caz orizontul astronomic se confundă cu *orizontul adevărat al observatorului.*

Axa polilor tereştri PP' prelungită la infinit înţeapă sfera cerească în două puncte: *polul nord ceresc* P_N şi *polul sud ceresc* P_S; linia care uneşte cei doi poli se numeşte *axa polilor cereşti* sau *axa lumii.* Polul nord ceresc se află aproximativ pe direcţia stelei Polare.

Planul ecuatorului terestru qq' intersectează sfera cerească după un cerc mare QQ' numit *ecuator ceresc.* Planul ecuatorului ceresc este perpendicular pe axa polilor cereşti $P_N P_S$ în centrul sferei cereşti.

Intersecția sferei cerești cu planul meridianului geografic al observatorului POP' determină cercul mare P_NZP_S numit *meridianul ceresc al observatorului*. Linia zenit-nadir împarte meridianul ceresc al observatorului în două semicercuri: *meridianul nordic ZP_NNa*, ce conține polul nord ceresc și *meridianul sudic ZP_SNa*, care conține polul sud ceresc. Punctul de intersecție dintre meridianul nordic și orizontul adevărat al observatorului se numește *nord (N)*;

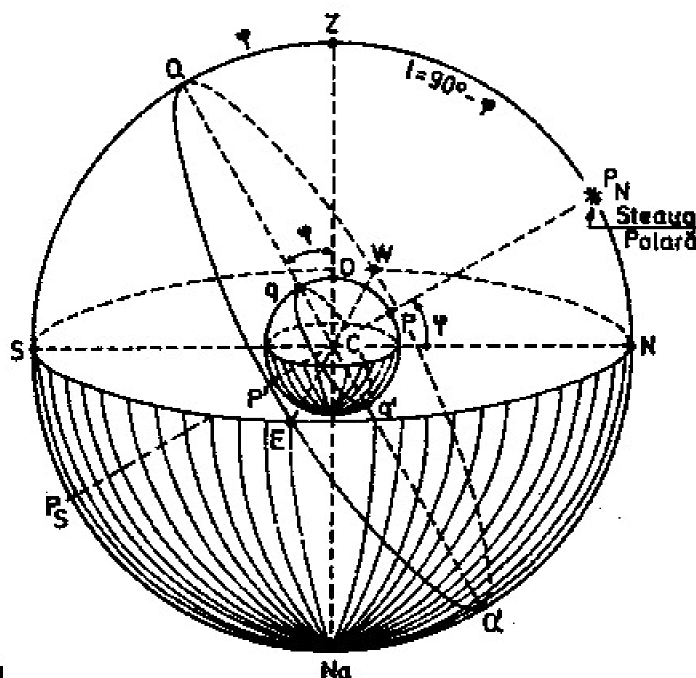


Fig. 15-1

punctul de intersecție dintre meridianul sudic și orizontul adevărat al observatorului se numelte *sud (S)*. Dreapta conținută în orizont care unește punctele nord și sud se numește *linia nord-sud (N–S)*.

Axa lumii împarte meridianul ceresc al observatorului în două semicercuri: *meridianul superior P_NZP_S*, ce conține zenitul observatorului și *meridianul inferior P_NNaP_S*, care conține nadirul.

Ecuatorul ceresc se intersectează cu orizontul observatorului în două puncte: *est* (E) și *vest* (W); considerându-se în centrul sferei cerești cu fața spre nord, estul este în drapta și vestul în stânga. Punctele est și vest sunt unite de *linia est-vest* (E-W).

Liniile nord-sud și est-vest sunt reciproc perpendiculare; ele împart orizontul observatorului în patru cadrane: NE, SE, SW și NW.

Planul orizontului observatorului împarte sfera cerească în două emisfere: *emisfera vizibilă NZS*, ce conține zenitul și *emisfera invizibilă NNaS*, care conține nadirul.

Planul ecuatorului ceresc împarte sfera cerească în două emisfere: *emisfera nordică QP_NQ'*, ce conține polul nord ceresc și *emisfera sudică QP_SQ'*, care conține polul sud ceresc.

Planul meridianului ceresc al observatorului împart sfera cereacă în două emisfere: *emisfera estică NES*, care conține estul și *emisfra vestică NWS*, ce conține vestul.

Polul ceresc aflat deasupra orizontului se numește *pol ridicat, vizibil* sau *superior;* polul ceresc aflat sub orizont se numește *pol coborât, invizibil* sau *inferior.* Numele polului ridicat este dat de latitudinea observatorului; astfel, în figura 15-1, polul ridicat este polul nord ceresc, deoarece latitudinea observatorului este nordică.

Unghiul la centrul sferei QCZ sau arcul de meridian ceresc $\widehat{QZ}$ este egal cu latitudinea observatorului φ. Se observă însă că $\sphericalangle QCZ = \sphericalangle P_N CN$, având laturile reciproc perpendiculare. ***Deci înălţimea polului ridicat deasupra orizontului este egală cu latitudinea observatorului.***

Arcul de meridian ceresc $\widehat{ZP_N}$ cuprins între zenitul observatorului şi polul ridicat este egal cu *colatitudinea* $l = 90° - φ$.

§2 Coordonatele sferice ale aştrilor utilizate în navigaţia astronomică

În navigaţia astronomică, punctul navei se determină în funcţie de poziţia aştrilor observaţi pe sfera cerească; poziţia unui astru se stabileşte în raport de elementele sferei cereşti, definite mai sus, care sunt într-o relaţie determinată cu poziţia observatorului pe sfera terestră.

Poziţia unui astru pe sfera cerească, în navigaţia astronomică, se determină prin două sisteme de coordonate sferice: ***sistemul de coordonate orizontale*** şi ***sistemul de coordonate ecuatoriale***. Fiecare sistem de coordonate sferice are o ***axă principală*** şi un ***plan principal***, perpendicular pe aceasta în centrul sferei cereşti, pe care o interesează după un cerc mare. Poziţia astrului se determină în raport de două cercuri mari ale sistemului, ale căror plane sunt reciproc perpendiculare: primul este cel generat de planul principal al sistemului, prin intersecţia sa cu sfera cerească; al doilea, comun ambelor sisteme, este meridianul ceresc al observatorului, ca cerc mare care trece prin polii sistemelor *(Z, P_N, Na, P_S)*; polii unui sistem de coordonate sferice sunt punctele în care axa principală a sistemului înţeapă sfera cerească.

1 Sistemul de coordonate orizontale

Axa principală a acestui sistem este linia *zenit-nadir*, deci polii sistemului sunt ***zenitul*** şi ***nadirul*** (fig. 15-2); planul principal este ***orizontul adevărat al observatorului.***

Considerăm sfera cerească cu centrul în ochiul observatorului *O*, imaginând Pământul redus la acest punct. Prelungim direcţia în care se vede un astru *A* până când aceasta înţeapă sfera cerească; punctul *A* de pe sferă reprezintă poziţia aparentă a astrului.

Semicercul *ZANa* care uneşte polii sistemului, zenitul şi nadirul – şi trece prin astrul *A*, se numeşte ***verticalul astrului;*** el rezultă din intersecţia sferei cereşti cu planul vertical al astrului.

Cercul mic $a\,A\,a'$ paralel cu orizontul observatorului care trece prin astrul *A* se numeşte ***almocantaratul*** sau ***cercul de înălţime*** al astrului; el rezultă din intersecţia sferei cereşti cu un plan paralel cu planul orizontului adevărat al observatorului, ce trece prin astru.

Fiecare astru se află la intersecţia unui vertical cu un paralel de înălţime.

Verticalul şi paralelul de înălţime al unui astru la un moment dat se determină prin coordonatele sale orizontale, care se măsoară în raport de cele două cercuri mari ale sistemului: *orizontul adevărat şi meridianul ceresc al observatorului.*

Verticalul astrului A se determină prin unghiul diedru format între planul meridianului ceresc al observatorului şi planul verticalului astrului; acest unghi diedru se exprimă prin *azimutul Az* sau *unghiul la zenit Z* al astrului.

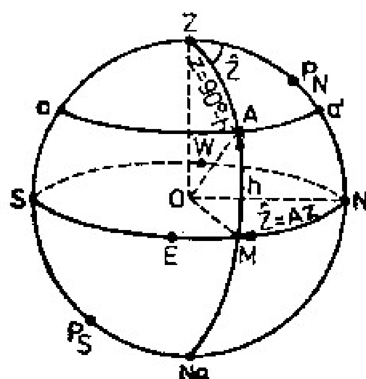


Fig. 15-2

Azimutul unui astru este arcul de orizont sau unghiul la centru corespunzător, măsurat de la nord în sens retrograd până la verticalul astrului; el se contează în sistem circular de la 0° la 360° şi se notează cu *Az*. Astfel azimutul astrului *A* este $Az = \widehat{NM} = \sphericalangle NOM$.

În rezolvarea problemelor de navigaţie astronomică se utilizează frecvent *unghiul la zenit Z*, care poate fi contat în sistem semicircular sau cuadrantal.

Unghiul la zenit Z semicircular al unui astru este arcul de orizont $\widehat{NM}$ sau unghiul la centru corespunzător *NOM*, măsurat de la meridianul care conţine polul ridicat (N sau S), spre est sau vest, până la verticalul astrului; poate lua valori de la 0° la 180°. El mai este reprezentat şi ca unghiul sferic format la zenit, între meridianul care conţine polul ridicat, spre est sau vest, până la verticalul astrului. Unghiul la zenit semicircular se notează: Z = N(S)... °E (W); de exemplu, la un unghi de 72°, pentru un observator de latitudine sudică şi un astru aflat în emisfera vestică: Z = S 72°W.

Unghiul la zenit cuadrantal se exprimă ca arc de orizont sau unghi la centru corespunzător, măsurat de la N sau S, spre est sau vest, după cum astrul se află în unul din cadranele de orizont NE, SE, SW sau NW, până la verticalul astrului. Precizarea modului de stabilire a originii de contare (N sau S) se face mai jos la § 3, punctul 7. Unghiul la zenit cuadrantal se notează: *Z* = NE...°, *Z* = SE...°, *Z* = SW...°, *Z* = NW...°, indicându-se cadranul de orizont şi mărimea unghiului.

În practica navigaţiei astronomice se pune problema transformării unghiului la zenit în azimut şi invers.

Din proiecţiile pe orizontul adevărat al observatorului reprezentate în figurile 15-3 şi 15-4 se deduc următoarele relaţii dintre azimut şi unghiul la zenit semicircular:

a – observatorul în emisfera nordică (fig. 15-3):

– astrul *A*...*Z* = *N*...°E...*Az* = *Z*;

– astrul *B*...*Z* = *N*...°W....*AZ* = 360° – *Z*; (15-1)

b – observatorul în emisfera sudică (fig. 15-4):

– astrul *C*...*Z* = *S*...°E...*AZ* = 180° – *Z;* (15-1′)

– astrul *D*...*Z* = *S*...°*W*....*Az* = 180° + *Z*.

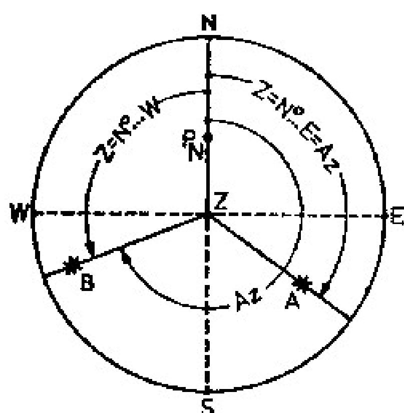


Fig. 15-3

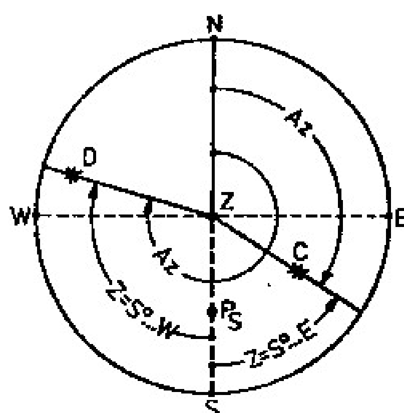


Fig. 15-4

Proiecția pe orizontul adevărat al observatorului reprezentată în fig. 15-5 scoate în evidență următoarele relații dintre azimut și unghiul la zenit cuadrantal:

– astrul *F*...*Z* = NE°... ...*AZ* = Z (15-2)

– astrul *G*...*Z* = SE°... ...*Az* = 180° – *Z*

– astrul *H*...*Z* = *SW*°... ...*Az* = 180° + *Z*

– astrul *L*...*Z* = NW°... ...*Az* = 360° – *Z*

Verticalul care trece prin punctul est se numește *primul vertical estic;* cel care trece prin punctul vest este numit *primul vertical vestic.* Unghiul la zenit semicircular al unui astru aflat în primul vertical este Z = N(S)90°E (W), funcție de emisfera terestră a observatorului și după cum astrul se vede la est sau vest; azimutul astrului

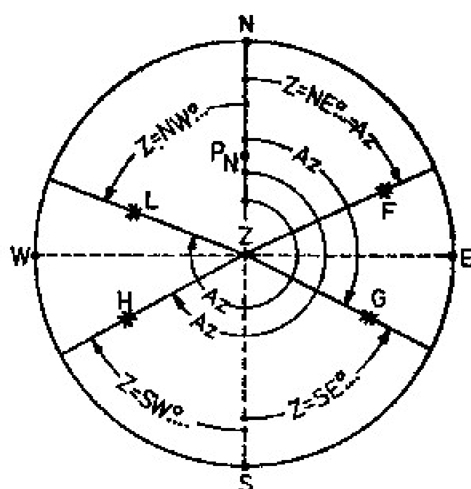


Fig. 15-5

la est sau vest; azimutul astrului este 90°, dacă se află în primul vertical estic și 270°, dacă este în cel vestic.

Paralelul de înălțime al unui astru este determinat de ***înălțimea astrului h*** sau de *distanța zenitală z (fig. 15-2).*

Înălțimea h a unui astru este arcul verticalului astrului sau unghiul la centru corespunzător, măsurat de la orizontul observatorului până la astru; poate lua valori de la 0° (când astrul se află în orizont), până la 90° (când astrul se află în zenit sau nadir). Înălțimea este pozitivă, când astrul se află în emisfera vizibilă și negativă, când astrul se află în emisfera invizibilă; rezultă că înălțimea zenitului este de +90°, iar a nadirului −90°. Astfel, înălțimea astrului A este $h = \widehat{MA} = \sphericalangle MOA$.

Distanța zenitală z a unui astru este arcul verticalului astrului $\widehat{ZA}$ sau unghiul la centru corespunzător ZOA, măsurat de la zenit la astrul A; poate lua valori de la 0° (când astrul se află la zenit), până la 180° (când astrul se află în nadir).

Relația dintre înălțime și distanța zenitală este:

$$h = 90° - z \tag{15-3}$$

În consecință, pentru determinarea poziției unui astru în sistemul de coordonate orizontale sunt necesare două coordonate: una pentru definirea verticalului astrului în raport cu meridianul ceresc al observatorului (Az sau Z) și una care determină paralelul de înălțime față de orizontul observatorului (h sau z).

Coordonatele orizontale ale unui astru la un moment dat sunt deci în funcție de poziția observatorului pe sfera terestră; de aceea, ele mai sunt denumite și coordonate orizontale locale.

2 Sistemul de coordonate ecuatoriale

Axa principală a acestui sistem este axa lumii P_NP_S, deci polii sistemului sunt polii cerești (fig. 15-6); planul principal este ecuatorul ceresc QQ'.

Presupunem un astru B pe sfera cerească. Semicercul P_NBP_S care unește cei doi poli cerești și trece prin astru se numește *cercul orar al astrului*. Cercul mic bBb', ce

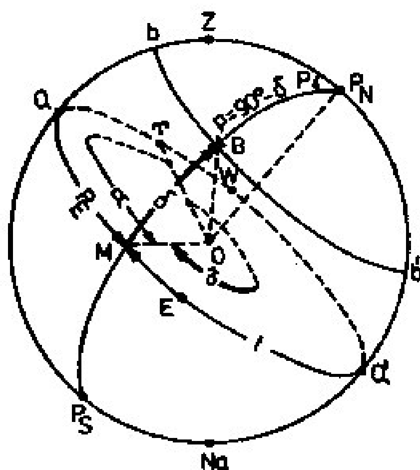


Fig. 15-6

trece prin astru și este paralel cu ecuatorul ceresc, se numește *paralel de declinație* al astrului.

Poziția unui astru, la un moment dat, se află la intersecția cercului său orar cu paralelul de declinație. Pozițiile acestora se determină prin *coordonatele ecuatoriale ale astrului*, care se exprimă în raport de cele două cercuri mari ale sistemului: meridianul ceresc al observatorului și ecuatorul ceresc.

Cercul orar al astrului B se determină prin unghiul diedru format între planul meridianului ceresc al observatorului și planul cercului orar al astrului; acest unghi diedru se exprimă prin ***unghiul orar t*** sau ***unghiul la pol P*** al astrului.

Unghiul orar t al astrului este arcul de ecuator ceresc sau unghiul la centru corespunzător, măsurat de la meridianul superior al observatorului, în sens retrograd, până la cercul orar al astrului; poate lua valori de la 0° la 360°. Se notează cu t; de exemplu $t = 270°13'.4$.

Unghiul la pol P al astrului este arcul de ecuator ceresc sau unghiul la centru corespunzător, măsurat de la meridianul superior al observatorului, spre est sau vest (după cum astrul se află în emisfera estică sau vestică), până la cercul orar al astrului; poate lua valori semicirculare de la 0° la 180°. Mai poate fi definit și ca unghiul sferic format la polul ridicat, între meridianul superior și cercul orar al astrului, măsurat spre est sau vest. Se notează cu *P*, indicându-se și sensul de contare spre E sau W; de exemplu: $P_E = 79°13'.5$ sau $P_W = 137°15'.0$.

Din proiecția pe ecuatorul ceresc reprezentată în fig. 15-7 se deduc relațiile dintre unghiul orar și unghiul la pol al unui astru:

– astrul *C*... $t < 180°$ ...$P_W = t$ (15-4)

– astrul *D*... $t > 180°$ ...$P_E = 360° - t$ (15-4')

Cercul orar al astrului mai poate fi determinat și în raport de *punctul vernal* γ prin: *ascensiunea dreaptă* α *a astrului* sau *unghiul* τ. Punctul vernal γ este punctul de intersecție dintre ecuatorul ceresc și eliptică, prin care Soarele – în mișcarea sa anuală aparentă, trece la echinocțiul de primăvară din emisfera australă în cea boreală (vezi cap. 17, § 3).

Ascensiunea dreaptă α a astrului este arcul de ecuator ceresc sau unghiul la centru corespunzător, măsurat de la punctul vernal γ în sens direct până la cercul orar al astrului; poate lua valori de la 0° la 360° (fig. 15-6).

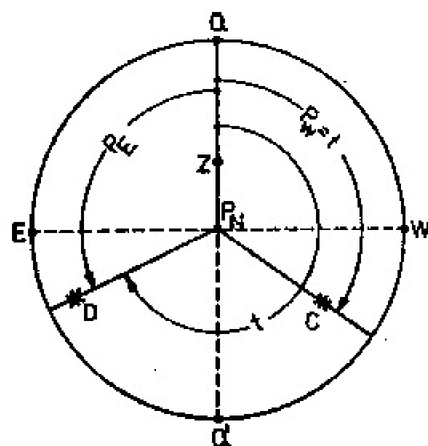


Fig. 15-7

Unghiul τ al unui astru este arcul de ecuator ceresc sau unghiul la centru corespunzător, măsurat de la punctul vernal γ, în sens retrograd, până la cercul orar al astrului; poate lua valori de la 0° la 360°.

Din figura 15-6 și din definițiile date se deduce că:

$$\tau = 360° - \alpha \qquad (15\text{-}5)$$

Paralelul de declinație al unui astru este determinat de *declinația* δ sau de *distanța polară* p a astrului.

Declinația δ a astrului este arcul de cerc orar *(*$\widehat{MB}$*)* sau unghiul la centru corespunzător *(MOB)*, măsurat de la ecuatorul ceresc până la astru: poate lua valori de la 0° (când astrul se află pe ecuatorul ceresc), până la 90° (când astrul se află în unul din polii cerești). Declinația astrului se consideră nordică sau pozitivă, dacă astrul se află în emisfera nordică și este sudică sau negativă, dacă astrul se găsește în emisfera sudică. Se notează: δ = N 32°15′.3 sau δ = + 32°15′.3; δ = S 12°31′.6 sau δ = −12°31′.6.

Distanța polară p a unui astru este arcul de cerc orar P_NB sau unghiul la centru corespunzător P_NOB, măsurat de la polul ridicat până la astru: poate lua valori de la 0° (când astrul se află în polul ridical) până la 180° (când astrul se află în polul coborât).

Relațiile dintre distanța polară și declinația astrului sunt următoarele:

– dacă observatorul se află în emisfera nordică (fig. 15-6):

$$p = 90° - \delta \qquad (15\text{-}6)$$

– când observatorul se află în emisfera sudică (fig. 15-8 *b*):

$$p = 90° + \delta, \qquad (15\text{-}6')$$

operațiile efectuându-se algebric.

Din cele arătate rezultă că pentru determinarea poziției unui astru în sistemul de coordonate ecuatoriale sunt necesare două coordonate:

– una pentru definirea cercului orar în raport cu meridianul ceresc al observatorului (t sau P) sau față de punctul vernal (α sau τ);

– una pentru determinarea paralelului de declinație în raport cu ecuatorul ceresc (δ sau p).

La intersecția cercului orar cu cercul de declinație al astrului, astfel determinate, se obține poziția astrului.

Din definiția coordonatelor ecuatoriale rezultă că:

– unghiul orar și unghiul la pol al astrului sunt mărimi dependente de poziția observatorului pe sfera terestră; de aceea ele mai sunt denumite și *coordonate ecuatoriale locale*;

– ascensiunea dreaptă, unghiul τ, declinația și distanța polară sunt mărimi proprii astrului, funcție de poziția aestuia pe sfera cerească, independente de poziția observatorului pe sfera terestră.

§3 Triunghiul sferic de poziție. Formule utilizate în navigația astronomică pentru rezolvarea lui

1 Triunghiul sferic de poziție

Prin intersecția meridianului ceresc al observatorului cu verticalul și cercul orar al astrului *A* se obține un triunghi sferic ZPA, numit *triunghi sferic de poziție;* figura 15-8*a* reprezintă triunghiul sferic de poziție pentru un astru *A* și un observator situat la o latitudine nordică, iar figura 15-8*b* pentru un astru *B* și un observator aflat în emisfera sudică.

Vârfurile triunghiului sferic de poziție în cazul astrului *A* sunt: zenitul *Z*, polul ridicat P_N și astrul *A*. Laturile sunt formate din trei arce de cerc mare: colatitudinea observatorului $\widehat{ZP_N} = l = 90° - \varphi$, distanța zenitală a astrului $ZA = z = 90° - h$ și distanța polară $\widehat{PN_A} = p = 90° - \delta$. Unghiurile sferice sunt: unghiul la zenit *Z*, unghiul la pol *P* și *unghiul paralactic A*.

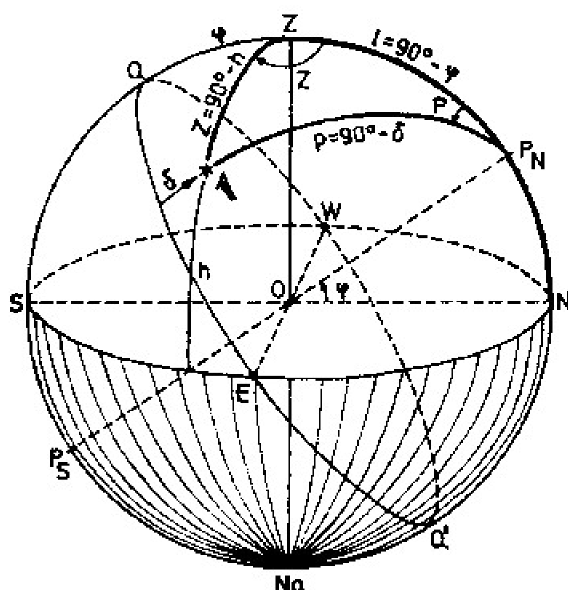


Fig. 15-8a

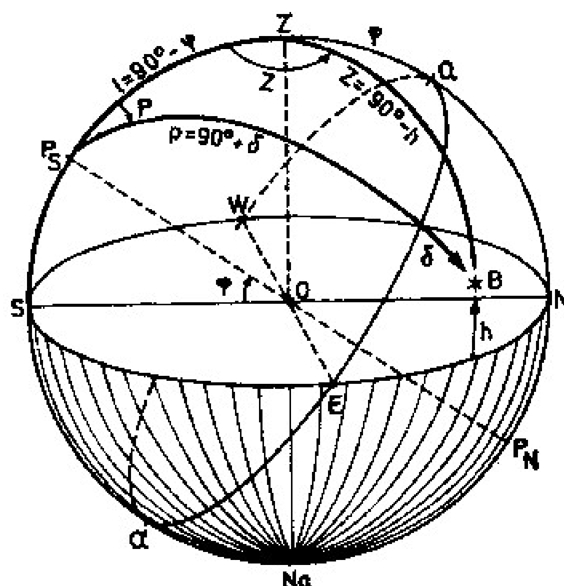


Fig. 15-8b

După cum se observă, triunghiul sferic de poziție este determinat de coordonatele geografice ale observatorului și de coordonatele sferice ale astrului. Introducerea noțiunii de sferă cerească în studiul determinării poziției aștrilor conduce la simplificarea rezolvării problemei punctului navei în navigația astronomică, deoarece se lucrează numai cu unghiuri și arce, eliminându-se distanțele; în rezolvarea triunghiului sferic de poziție, raza sferei cerești se consideră egală cu unitatea.

Coordonatele sferice ale astrului care definesc triunghiul sferic de poziție se obțin din observațiile la aștri (măsurarea înălțimii deasupra orizontului, determinarea unghiului la zenit din relevmentul observat etc.) sau se scot din efemerida nautică pentru momentul observației (vezi cap. 19).

Problemele principale ale navigației astronomice își găsesc soluționarea prin rezolvarea triunghiului sferic de poziție, aplicând formulele trigonometriei sferice în modul indicat în cele ce urmează.

2 Calculul înălțimii din latitudine, declinație și unghi la pol

A *Calculul înălțimii prin formula sin h.*

Se dau: latitudinea observatorului, declinația și unghiul la pol al astrului; în acest caz, în triunghiul sferic de poziție ZP_NA (fig. 15-9 se cunosc: colatitudinea $l = 90° - \varphi$, distanța polară $p = 90° - \delta$ și unghiul la pol P, cuprins între ele; înălțimea h se obține din distanța zenitală $z = 90° - h$, calculată prin aplicarea *formulei cosinusurilor laturilor: cosinusul unei laturi este egal cu produsul cosinusurilor celorlalte două laturi mărit cu produsul sinusurilor lor prin cosinusul unghiului opus, deci:*

$\cos(90° - h) = \cos(90° - \varphi)\cos(90° - \delta) + \sin(90° - \delta)\sin(90° - \delta)\cos P$ sau:

sau:

$$\sin h = \sin\varphi \sin\delta + \cos\varphi \cos\delta \cos P \qquad (15\text{-}7)$$

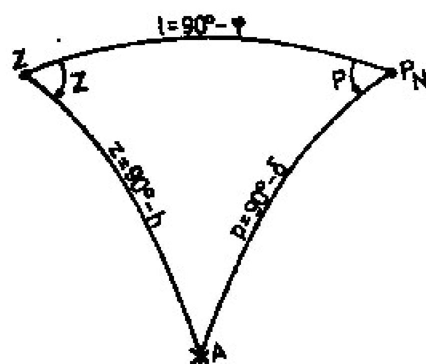


Fig. 15-9

Formula (15-7), cunoscută sub denumirea de *formula înălțimii*, își găsește o largă aplicare la determinarea astronomică a poziției navei; se rezolvă logaritmic pe părți, considerând:

$$a = \sin\varphi \sin\delta \text{ și } b = \cos\varphi \cos\delta \cos P$$

Analizând semnul fiecărui factor în parte, se stabilește regula semnelor pentru cei doi termeni ai membrului din dreapta:

– *primul termen a este:*

– pozitiv dacă φ și δ sunt de același semn;

– negativ dacă φ și δ sunt de semne contrarii;

– *al doilea termen b,* deoarece produsul $\cos\varphi \cdot \cos\delta$ este întotdeauna pozitiv, are semnul funcție de mărimea unghiului la pol, astfel:

– pozitiv dacă $P < 90°$;

– negativ dacă $P > 90°$.

În cazul aştrilor observaţi pentru determinarea poziţiei navei, înălţimea calculată trebuie să rezulte întotdeauna pozitivă (astrul se află în emisfera vizibilă).

Exemplu. $\varphi = +43°32'$; $\delta = +19°26'.4$; $P_W = 76°43'.5$. Să se calculeze înălţimea astrului.

Rezolvare:

$$\sin h = \sin\varphi \sin\delta + \cos\varphi \cos\delta \cos P = (+a) + (+b)$$

$\log \sin\varphi = 9.83808$
$\log \sin\delta = 9.52221$
$\log a = 9.36029$

$\log \cos\delta = 9.86032$
$\log \cos\delta = 9.97451$
$\log \cos P = 9.36102$
$\log b = 9.19585$
$a = +0..22925$
$+b = +0.15698$
$\sin h = +0.38623$
$\log \sin h = 9.58684$
$h = 22°43'.2$

B *Calculul înălţimii prin formula* $\sin^2 \dfrac{z}{2}$

Ştiind că $z = 90° - h$, formula (15-7) se poate scrie:

$$\cos z = \sin\varphi + \cos\varphi \cos\delta \cos P.$$

Pe baza relaţiei trigonometrice $\cos\alpha = 1 - 2\sin\dfrac{\alpha}{2}$, ecuaţia de mai sus ia forma:

$$1 - 2\sin^2\frac{z}{2} = 1 - 2\sin^2\frac{\varphi \sim \delta}{2} - 2\cos\varphi\ \cos\delta \sin^2\frac{P}{2}$$

sau

$$\sin^2\frac{z}{2} = \sin^2\frac{\varphi \sim \delta}{2} + \cos\varphi \cos\delta \sin^2\frac{P}{2} \qquad (15\text{-}8)$$

Formula se rezolvă utilizând tabelele logaritmice din *Tablele Nautice MT 53*, astfel:

– se calculează logaritmul termenului al doilea (II) al membrului din dreapta: $\log \mathrm{II} = \log\left(\sin^2\dfrac{P}{2}\cos\varphi\cos\delta\right)$; pentru a afla $\log\sin^2\dfrac{P}{2}$, se intră în *tabla 5* cu *P* pe coloana „$\sin^2\dfrac{\alpha}{2}$";

– se face diferenţa $\varphi \sim \delta$, scăzând valoarea mai mică din cea mai mare, dacă φ şi δ sunt de acelaşi semn; se face suma $(\varphi + \delta)$, dacă φ şi δ sunt de semne contrarii;

– se scoate $\log\sin^2\dfrac{\varphi \sim \delta}{2}$ din *tabla 5*, intrând cu valoarea $\varphi \sim \delta$ pe coloana „$\sin^2\dfrac{\alpha}{2}$";

– se scade logaritmul termenului mai mic din logaritmul termenului mai mare şi se obţine argumentul $Arg = \log a - \log b$; $\log a$ reprezintă logaritmul mai mare şi $\log b$ – logaritmul mai mic;

– se intră în *tabla 3* (*„Logaritmii sumelor* α") cu argumentul ($\log a - \log b$) și se obține $\alpha = \log\left(1+\frac{b}{a}\right)$... (v. explicațiile *tablei* 3 *„logaritmii sumelor și diferențelor"*);

– se face suma $\log \text{II} + \alpha = \log \sin^2 \frac{z}{2}$;

– se intră cu $\log \sin^2 \frac{z}{2}$ în *tabla 5* și se obține distanța zenitală z;

– se calculează înălțimea astrului din relația: $h = 90° - z$.

Exemplu. Se dau aceleași date ca la punctul *A*. Să se calculeze înălțimea după formula $\sin^2 \frac{z}{2}$, folosind *Tablele nautice MT 53.*

Rezolvare:

$P_W = 76°43'.5$ .... $\log \sin^2 \frac{P}{2} = 9.58567$;

$\varphi = +43°32'$ .... $\log \cos \varphi = 9.86032$

$\delta = 19°26'.4$ .... $\log \cos \delta = 9.97451$

$\varphi \sim \delta = 24°05'.6$ ... $\log \sin^2 \frac{\varphi \sim \delta}{2} = 8.63908$ $\qquad \log \text{II} = 9.42050$

$Arg = 0.78142$ $\qquad \alpha = 0.06648$

$\log \sin^2 \frac{z}{2} = 9.48698$

$z = 67°16'.8$

$h = 22°43'.2$

C *Calculul înălțimii prin formula hav z*

Expresia $\sin^2 \frac{\alpha}{2}$ mai este cunoscută și sub denumirea de *haversinus* α (hav α); deci se poate scrie:

$$\sin^2 \frac{\alpha}{2} = \text{hav}\,\alpha \qquad (15\text{-}9)$$

Expresia de hav α (haversinus) este utilizată de *Tablele Nautice „Norie's"*.

Pe baza expresiei (15-9), ecuația (15-8) poate fi scrisă sub forma:

$$\text{hav}\,z = \text{hav}\,P \cos\varphi \cos\delta + \text{hav}\,(\varphi \sim \delta) \qquad (15\text{-}10)$$

Cu ajutorul primului termen al membrului din dreapta se determină un unghi auxiliar x după formula:

$$\text{hav}\,x = \text{hav}\,P \cos\varphi \cos\delta$$

deci:

$$\text{hav}\,z = \text{hav}\,x + \text{hav}\,(\varphi \sim \delta) \qquad (15\text{-}11)$$

Logaritmii haversinus (log hav) şi valorile naturale haversinus („hav nat") sunt conţinute în tabla *„Haversinus"* (pp. 380–442) a *Tablelor Nautice „Norie's"*

Formula 15-11 se rezolvă astfel:

– se calculează log hav x – log (hav P cos φ cos δ); se scoate valoarea corespunzătoare hav nat x din coloana din dreapta;

– se calculează mărimea ($\varphi \sim \delta$), scăzând valoarea mai mică din cea mai mare, dacă φ şi δ sunt de acelaşi semn; se face suma ($\varphi + \delta$), dacă φ şi δ sunt de semne contrarii;

– se scoate „hav nat" de ($\varphi \sim \delta$);

– se face suma [(hav nat x + hav nat ($\varphi \sim \delta$)] şi se obţine „hav nat z";

– se scoate distanţa zenitală corespunzătoare lui *„hav nat z"*, care se transformă în înălţimea astrului după relaţia $h = 90° z$.

Exemplu. Se dau aceleaşi date ca la punctul A.

$P_W = 76°43'.5...$	log hav P	= 9.58567
$\varphi = +43°32'...$	log cos φ	= 9.86032
$\delta = +19°26'.4...$	log cos δ	= 9.97451
	log hav x	= 9.42050
	hav nat x	= 0.26333
$\varphi - \delta = +24°05'.6$	hav nat ($\varphi \sim \delta$)	= 0.04356
	hav nat x	= 0.30689
	z	= 67°16'.8
	h	= 22°43'.2

3 Calculul declinaţiei din latitudine, înălţime şi unghi la zenit

Se dau: latitudinea observatorului φ, înălţimea astrului h şi unghiul la zenit Z semicircular; rezultă că, în triunghiul sferic de poziţie (fig. 15-9) se cunosc: colatitudinea $l = 90° - \varphi$, distanţa zenitală $z = 90° - h$ şi unghiul la zenit Z, cuprins între ele. Declinaţia astrului δ se obţine din distanţa polară $p = 90° - \delta$, calculată prin aplicarea formulei cosinusurilor laturilor:

$$\cos(90° - \delta) = (90 - \varphi)\cos(90° - h) + \sin(90° - \varphi)\sin(90° - \mathrm{h})\cos Z$$

de unde:

$$\sin\delta = \sin\varphi\sin h + \cos\varphi\cos h\cos Z \qquad (15\text{-}11)$$

Ca şi în cazul formulei (15-7) pentru calculul înălţimii, ecuaţia (15-11) pentru calculul declinaţiei astrului se rezolvă logaritmic pe părţi, considerând:

$$x = \sin\varphi\sin h \text{ şi } y = \cos\varphi\cos h\cos Z.$$

Formula (15-11) se aplică la calculul declinaţiei, folosită la identificarea unui astru necunoscut (vezi cap. 21, § 3).

4 Calculul azimutului din latitudine, declinație și unghi la pol

A Calculul azimutului prin formula cotg Z

Se dau: latitudinea observatorului φ, declinația δ și unghiul la pol P al astrului. Rezultă că în triunghiul sferic de poziție (fig. 15-9) se cunosc: distanța polară $p = 90° - δ$, unghiul la pol P și colatitudinea $l = 90° - δ$; se cere a se calcula unghiul la zenit Z, care se transformă apoi în azimut. Se observă că cele patru elemente care intră în relație sunt consecutive în triunghiul sferic de poziție, putând fi denumite astfel: Z-unghi de margine, l-latură de mijloc, P-unghi de mijloc și p-latură de margine.

Unghiul la zenit se calculează prin aplicarea *formulei cotangentelor sau formula celor patru elemente consecutive: cotangenta unghiului de margine înmulțită cu sinusul unghiului de mijloc = cotangenta laturii de margine înmulțită cu sinusul laturii de mijloc minus produsul cosinusurilor elementelor de mijloc;* deci:

$\text{cotg}\, Z \sin P = \text{cotg}\,(90° - δ)\ \sin (90° - φ) - \cos\ (90° - φ)\ \cos P$ de unde, prin împărțire cu sin P se obține:

$$\text{ctg}\, Z = \text{tg}\, δ \cos φ\ \text{cosec}\, P - \sin φ\ \text{ctg}\, P \quad (15\text{-}12)$$

Formula (15-12) se rezolvă logaritmic pe părți.

Unghiul la zenit Z se determină cu valori semicirculare, de la 0° la 180°; se notează de la nord – pe latitudini nordice și de la sud – pe latitudini sudice, către est sau vest, corespunzător sensului unghiului la pol. Unghiul la zenit se transformă apoi în azimut pe baza relațiilor (12-1).

Calculul azimutului pe baza formulei (15-12) prezintă importanță la rezolvarea problemei de punct astronomic prin sistemul dreptelor de înălțime și la controlul corecției compasului.

Exemplu: $φ = 44°08'N$; $δ = 26°32'$; $P_E = 35°07'$. Să se calculeze azimutul astrului:

Rezolvare:

cotg Z = tg δ cos φ cosec P – sin φ ctg P = $(+x) + (-y)$

log tg δ = 9.69837		
log cos φ = 9.85596		log sin φ = 9.843282
log cosec P = 0.24015		log ctg P = 0.15289
log x = 0.79448		log y = 9.99571

$x = +\ 0.6230$

$+\ y = -\ 0.9902$

ctg Z = – 0.3672

log ctg Z = 9.56490

Z = N 110°10'E... Az = 110°.2

Observații:

– unghiul la zenit Z se contează de la nord pentru că latitudinea observatorului este nordică și are sensul est, deoarece unghiul la pol este estic;

– azimutul se calculează la precizie de 0°.1

B *Calculul azimutului cu tablele ABC*

Formula (15-12) se împarte la cos φ şi devine:

$$\text{ctg}\, Z \sec\varphi = \text{tg}\,\delta \,\text{cosec}\, P - \text{tg}\,\varphi\, \text{ctg}\, P \quad (15\text{-}13)$$

Se înmulţeşte fiecare termen al acestei expresii cu 10* şi se notează primul termen al membrului din dreapta cu A, cel de-al doilea cu *B* şi produsul membrului din stânga cu *C*, obţinându-se:

$$A = 10\,\text{tg}\,\delta\,\text{cosec}\, P; \quad (15\text{-}14)$$

$$B = -10\,\text{tg}\,\varphi\,\text{ctg}\, P \quad (15\text{-}14')$$

$$C = A + B = 10\,\text{ctg}\, Z \sec\varphi \quad (15\text{-}14'')$$

Acestea sunt expresiile care stau la baza întocmirii tablelor *ABC* conţinute în diferite *table nautice*. Intrarea succesivă în tablele *A, B* şi *C* se face în modul indicat schematic în figura 15-10; analiza semnelor pentru fiecare expresie în parte conduce la stabilirea următoarelor reguli:

– *A* este pozitiv, dacă φ şi δ sunt de acelaşi semn;

– *A* este negativ, dacă φ şi δ sunt de semne contrarii;

– dacă latitudinea observatorului este nordică, *B* are semnul:

– pozitiv, dacă $P > 90°$;

– negativ, dacă $P < 90°$;

– dacă latitudinea observatorului este sudică, regula semnelor pentru *B* se inversează.

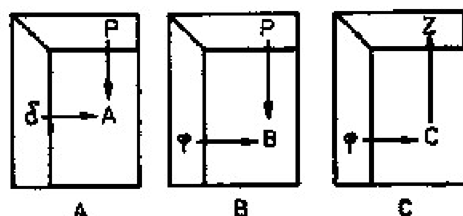


Fig. 15-10

Suma algebrică $A + B = C$; unghiul la zenit *Z* semicircular este rezultatul expresiei:

$$\text{ctg}\, Z = \frac{C}{10 \sec\varphi} = \frac{C}{10}\cos\varphi \quad (15\text{-}15)$$

Se intră deci în *tabla C'* cu φ şi *C* (vezi fig. 15-10) şi se obţine *Z* semicircular, astfel:

$Z < 90°$ (cadranul I trigonometric), dacă *C* este pozitiv;

$Z > 90°$ (cadranul II trigonometric), dacă *C* este negativ.

Unghiul la zenit se contează de la nord – pe latitudini nordice şi de la sud – pe latitudini sudice, către est sau vest corespunzător sensului unghiului la pol. Unghiul la zenit *Z* se transformă apoi în azimut pe baza relaţiilor (15-1).

* Se înmulţeşte cu 10 din motive de comoditate a calculelor pentru a se lucra cu valori mai mari.

Utilizarea tablelor *ABC* facilitează considerabil calculul azimutului.

Exemplu. Se dau aceleaşi date ca la punctul *A* de mai sus.
Să se calculeze azimutul.

Rezolvare:

– se intră în *tabla A* cu *P* şi δ...	$A = +\ 8.7$
– se intră în *tabla B* cu φ şi *P*...	$+B = -13.9$
	$C = -\ 5.2$
– se intră în *tabla C* cu φ şi *C*...	$Z = N\ 110°.5$ E
	$Az = 110°.5$

5 Calculul unghiului la pol din latitudine, înălţime şi unghi la zenit

A *Calculul unghiului la pol prin formula ctg P*

Se dau: latitudinea observatorului φ, înălţimea astrului *h* şi unghiul la zenit *Z* semicircular. În triunghiul sferic de poziţie ZP_NA (fig. 15-9) se cunosc deci următoarele elemente consecutive: distanţa zenitală $z = 90° - h$, unghiul la zenit *Z* şi colatitudinea $l = 90° - φ$; se cere să se calculeze al patrulea element consecutiv-unghiul la pol *P*. Unghiul la pol *P* se obţine prin aplicarea formulei cotangentelor (formula celor patru elemente consecutive), astfel:

$$\text{ctg } P \sin Z = \text{ctg } (90° - h) \sin (90° - φ) - \cos (90° - φ) \cos Z$$

de unde, prin împărţire cu sin *Z* se obţine:

$$\text{ctg } P = \text{tg } h \cos φ \text{ cosec } Z - \sin φ \text{ ctg } Z \qquad (15\text{-}16)$$

Formula (15-16) se rezolvă logaritmic pe părţi. Unghiul la pol se determină cu valori semicirculare, funcţie de semnul algebric la ctg *P*, cu sensul spre est sau vest, corespunzător sensului unghiului la zenit *Z*.

B *Calculul unghiului la pol cu tablele ABC*

Se procedează în mod analog ca la punctul 4 B; se împarte formula (15–16) la cos φ şi devine:

$$\text{ctg } P \sec φ = \text{tg } h \text{ cosec } Z - \text{tg } φ \text{ ctg } Z$$

pe care înmulţind-o cu 10 şi notând cei trei termeni în acelaşi fel ca la punctul 4-*B*, se obţine:

$$A = 10 \text{ tg } h \text{ cosec } Z; \qquad (15\text{-}17)$$

$$B = -10 \text{ tg } φ \text{ ctg } Z; \qquad (15\text{-}17')$$

$$C = A + B = 10 \text{ ctg } P \sec φ \qquad (15\text{-}17'')$$

de unde:

$$\text{ctg } P = \frac{C}{10 \sec φ} = \frac{C}{10} \cos φ \qquad (15\text{-}18)$$

Se constată că expresiile pentru calculul lui *A*, *B* şi *C* sunt identice cu (15-14), (15-14′) şi (15-14″), cu diferenţa că *P* este înlocuit prin *Z* şi δ prin *h*. Rezultă că

tablele *ABC* pot fi folosite și pentru calculul unghiului la pol, intrarea în table efectuându-se în modul indicat schematic în figura 15-11. Considerând pe h întotdeauna pozitiv, pentru aștrii observați în emisfera vizibilă, analiza semnelor celor trei termeni conduce la stabilirea următoarelor reguli:

– A este întotdeauna pozitiv;

– dacă latitudinea obervatorului este nordică, B are semnul:

– pozitiv, dacă $Z > 90°$;

– negativ, dacă $Z < 90°$;

– dacă latitudinea observatorului este sudică, regula semnelor lui B se inversează.

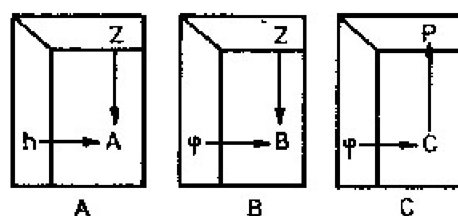


Fig. 15-11

Suma algebrică $A + B = C$; unghiul la pol se obține din formula (15-18), intrând în tabla C cu φ și C (în modul indicat în fig. 15-11), astfel:

$P < 90°$ (cadranul I trigonometric), dacă C este pozitiv;

$P > 90°$ (cadranul II trigonometric), dacă C este negativ.

Sensul unghiului la pol, estic sau vestic, este același cu al unghiului la zenit.

Modul se utilizare a tablelor *ABC* pentru calculul unghiului la pol din φ, h și Z poate fi văzut în exemplul rezolvat la capitolul 21, § 3, punctul 1.

6 Calculul declinației din latitudine, unghi la pol și unghi la zenit cu tablele ABC

Tablele *ABC* dau unchiul la zenit din φ, δ și P pe baza formulei (15-13), înmulțită cu 10:

$$10(\text{ctg } Z \sec \varphi = \text{tg } \delta \text{ cosec } P - \text{tg } \varphi \text{ ctg } P)$$

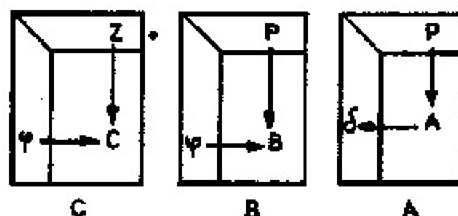


Fig. 15-12

Considerăm cunoscute φ, P și Z; pentru calcularea declinației astrului din aceste elemente, tablele *ABC* se folosesc astfel ca să rezolve formula:

$$10(\text{tg } \delta \text{ cosec } P = \text{ctg } Z \sec \varphi + \text{tg } \varphi \text{ ctg } P) \qquad (15\text{-}19)$$

În acest caz, intrarea în table se face în succesiunea C, B, A, în modul schematic indicat în figura 15-12, rezolvându-se consecutiv expresiile:

$$C = 10 \text{ ctg } Z \sec \varphi = A + B \quad (15\text{-}20)$$

$$B = -10 \text{ tg } \varphi \text{ ctg } P \quad (15\text{-}20')$$

$$A = C - B = 10 \text{ tg } \delta \text{ cosec } P \quad (15\text{-}20'')$$

Se intră în tablele C și B, cu argumentele φ și Z și respectiv φ și P, în modul indicat în figura 15-12; se obține astfel C și B.

Se face diferența algebrică $C - B = A$; se intră în tabla A cu P și A (în modul indicat în fig. 15-12), astfel ca să rezolve relația care derivă din (15-0''):

$$\text{tg } \delta = \frac{A}{10 \text{ cosec } P} = \frac{A}{10} \sin P \quad (15\text{-}21)$$

și se obține δ.

Analiza semnelor expresiilor (15-20) și (15-20') stabilește următoarele reguli:

– C este pozitiv dacă $Z < 90°$;

– C este negativ dacă $Z > 90°$;

– dacă latitudinea observatorului este nordică, B are semnul:

  - pozitiv, dacă $P > 90°$;
  - negativ, dacă $P < 90°$;

– dacă latitudinea observatorului este sudică, regula semnelor lui B se inversează;

– semnul lui A este cel care rezultă din diferența algebrică $A = C - B$.

Semnul declinației astrului se stabilește astfel:

– dacă A rezultă pozitiv, δ este de același semn cu φ;

– dacă A este negativ, δ este de semn contrar cu φ.

Modul de utilizare a tablelor *ABC* pentru calculul declinației poate fi văzut în rezolvarea problemei de la capitolul 21, § 3, punctul 1.

7 Calculul azimutului din declinație, unghi la pol și înălțime

Se dau: declinația δ, unghiul la pol P și înălțimea astrului h. Prin urmare, în triunghiul sferic de poziție ZP_NA (fig. 15-9) se cunosc: distanța polară $p = 90° - \delta$, unghiul la pol P și distanța zenitală $z = 90° - h$; se cere să se calculeze unghiul la zenit Z. Se observă că aceste elemente luate câte două sunt opuse în triunghiul sferic de poziție, deci unghiul la zenit se obține prin aplicarea *formulei sinusurilor: sinusurile unghiurilor sunt proporționale cu sinusurile laturilor opuse, astfel:*

$$\frac{\sin Z}{\sin(90° - \delta)} = \frac{\sin P}{\sin(90° - h)}$$

de unde

$$\sin Z = \cos \delta \sin P \sec h \quad (15\text{-}22)$$

Formula (15-22) se rezolvă logaritmic; precizia necesară azimutului este de 0°.1, fapt care permite scoaterea logaritmilor funcţiunilor trigonometrice la precizie de 1′, eliminându-se astfel ncesitatea interpolărilor.

Sin Z rezultă întotdeauna pozitiv, deci trigonometric, nu se poate stabili dacă unghiul la zenit este mai mare sau mai mic de 90°; de aceea, unghiul la zenit Z se scoate din tablele logaritmice cu valori cuadrantale, mai mici de 90°. Pentru ca acest unghi la zenit cuadrantal să poată fi transformat în azimut, este necesar mai întâi să i se stabilească cadrantul de orizont (NE, SE, SW, NW).

Determinarea cadranului unghiului la zenit. Determinarea cadranului unghiului la zenit impune stabilirea originii de contare, nord sau sud și a sensului, est sau vest; sensul de contare al unghiului la zenit este acelaşi cu al unghiului la pol (P_E sau P_W), care este un element cunoscut.

Pentru precizarea regulilor de stabilire a originii de contare a unghiului la zenit Z cuadrantal, în figura (15-13) considerăm paralele de declinaţie a trei aştri:

– paralelul AA' al unui astru circumpolar A, având $\delta > \varphi$ şi de acelaşi semn;

– paralelul BB'al unui astru B, de $\delta < \varphi$ şi de acelaşi semn;

– paralelul CC' al unui astru C, având δ de semn contrar cu φ.

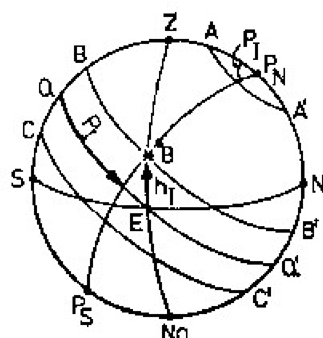


Fig. 15-13

Din figura 15-13 se deduc următoarele reguli pentru stabilirea originii de contare a unghiului la zenit cuadrantal:

a – dacă $\delta > \varphi$ şi de acelaşi semn (cazul astrului circumpolar A), unghiul la zenit se contează de la punctul cardinal N sau S, de acelaşi nume cu latitudinea;

b – dacă $\delta > \varphi$ şi de acelaşi semn (cazul astrului B), paralel de declinaţie al astrului taie primul vertical al astrului în emisfera vizibilă, astfel că unghiul la zenit cuadrantal se poate conta de la N sau S.

Pentru determinarea originii de contare în acest caz presupunem:

– h_I, înălţimea astrului în primul vertical, care se obţine din *tabla 21-b (MT-53)* în funcţie de φ şi δ; tabla este întocmită pe baza formulei (16-3);

P_I, unghiul la pol al astrului în primul vertical, exprimat de *tabla 21-a (MT-53*(în funcţie de aceleaşi argumente φ şi δ; tabla este întocmită pe baza formulei (16-4).

Cunoscând mărimile h_l și P_l, din figura 15-13, se observă următoarele:

– dacă $h < h_l$ sau $P > P_l$, unghiul la zenit se contează de la punctul cardinal S sau N, de același nume cu latitudinea;

– dacă $h > h_l$ sau $P < P_l$, unghiul la zenit se contează de la punctul cardinal N sau S, de nume contrar cu latitudinea.

Mărimile h și P sunt cunoscute ca elemente ce intră în calculul unghiului la zenit;

c – dacă δ este de semn contrar cu φ (cazul astrului C), unghiul la zenit se contează de la punctul cardinal S sau N, de nume contrar cu latitudinea.

Unghiul la zenit Z cuadrantal astfel calculat se transformă în azimut prin relațiile (15-2).

Formula (15-22) se aplică la calculul azimutului pentru trasarea dreptei de înălțime (vezi cap. 23), la determinarea astronomică a poziției navei. În practica navigației astronomice, cadranul unghiului la zenit se stabilește cu ușurință pe bază de observație.

Exemplu: $\varphi = +43°30'$. Pentru determinarea punctului navei se fac observații la trei aștri; în urma calculelor efectuate, rezultă următoarele date:

– Capella	... $\delta = +45°57'.3$;	$P_E = 106°41'.7$;	$h = 21°42'.6$;
– Sirrah	... $\delta = +28°50'.2$;	$P_E = 28°19'.2$;	$h = 62°18'.6$;
– Formalhaut	... $\delta = -29°51'.6$;	$P_W = 9°20'.4$;	$h = 14°24'.6$;

Rezolvare:

Capella		*Sirrah*		*Fomalhaut*
log cos δ = 9.84212	....	= 9.94251	....	= 9.93814
log sin P = 9.98130	....	= 9.67619	....	= 0.01388
log sec h = 0.03192	....	= 0.33269	....	= 0.01388
log sin Z = 9.85537	....	= 9.95139	....	= 9.16170
Z = NE 45°.8	....	= SE 63°.4	....	= SW 8°.3
Az = 45°.8	....	= 116°.6	....	= 188°.3

Originea de contare a unghiului la zenit cuadrantal al celor trei aștri s-a stabilit astfel:

a – Capella, $\delta > \varphi$ și de același semn; Z se contează de la N;

b – Sirrah, $\delta < \varphi$ și de același semn; $h_l = 41°$ (scos din tabla *21-b*, *MT-53*, în funcție de δ și φ); $h > h_l$, deci Z se contează de la S;

c – Fomalhaut, δ de semn contrar cu φ; Z se contează de la S.

8 Calculul înălțimii și azimutului cu rigla cilindrică

Presupunem astrul A și triunghiul sferic de poziție ZP_NA (fig. 15-14); se coboară perpendiculara sferică AK din astrul A pe meridianul ceresc al locului și se obțin astfel trei triunghiuri: triunghiul sferic de poziție ZP_NA și două triunghiuri sferice

dreptunghice P_NAK și ZAK. În cele două triunghiuri sferice dreptunghice se consideră:

– arcul $\widehat{QK} = x$, deci $\widehat{P_NK} = 90° - x$;

– arcul $\widehat{SK} = y$, deci $\widehat{ZK} = 90° - y$.

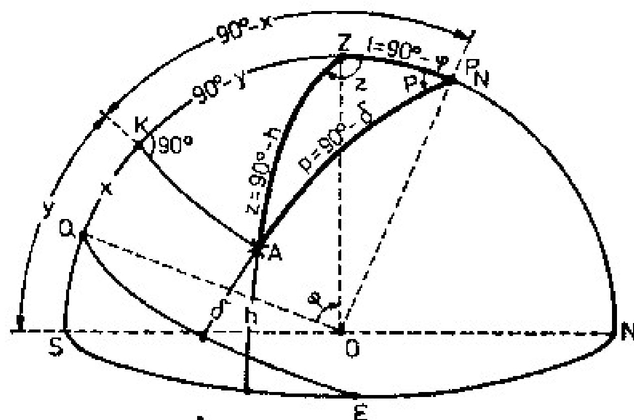


Fig. 15-14

Elementele cunoscute sunt: colatitudinea $l = 90° - \varphi$, unghiul la pol P și distanța polară $p = 90° - \delta$; se cere să se calculeze înălțimea și azimutul.

Rezolvarea succesivă a celor trei triunghiuri sferice duce la obținerea a trei expresii, care stau la baza calculului înălțimii și azimutului cu rigla cilindrică.

a – Din triunghiul sferic dreptunghic $P_N AK$ se obține:

$$\cos P = \text{ctg}\, x \,\text{tg}\, \delta$$

de unde:

$$\text{ctg}\, x = \text{ctg}\, \delta \cos P \qquad (15\text{-}23)$$

în care x este un arc auxiliar.

b – În triunghiul sferic de poziție ZP_NA se aplică formula cotangentelor pentru elementele consecutive:

$$Z,\ l = 90° - \varphi,\ P \text{ și } p = 90° - \delta, \text{ deci:}$$

$$\text{ctg}\, Z \sin P = \text{ctg}\,(90° - \delta) \sin (90° - \varphi) - \cos (90° - \varphi) \cos P$$

în care se fac următoarele substituiri:

$l = 90° - \varphi = (90° - x) - (90° - y) = y - x$

$\text{tg}\, \delta = \cos P \,\text{tg}\, x$ (dedusă din ecuația 15-23) și se împarte la $\cos P$. Astfel se deduce:

$$\text{ctg}\, Z \,\text{tg}\, P = \text{tg}\, x \sin (y - x) - \cos (y - x) = -\frac{\cos y}{\cos x}$$

de unde:

$$\text{ctg}\,(180° - Z) = \frac{\text{ctg}\, P \cos y}{\cos x} \qquad (15\text{-}24)$$

Ecuația (15-24) stă la baza calculului unghiului la zenit Z; Z constituie în același timp un unghi auxiliar pentru calculul înălțimii astrului, prin rezolvarea triunghiului sferic dreptunghic *ZAK*.

c – Din triunghiul sferic dreptunghic ZAC se obține:

$$\cos(180° - Z) = \text{tg}\, h \,\text{ctg}\, y$$

de unde:

$$\text{ctg}\, h = \frac{\text{ctg}\, y}{\cos(180° - Z)} \qquad (15\text{-}25)$$

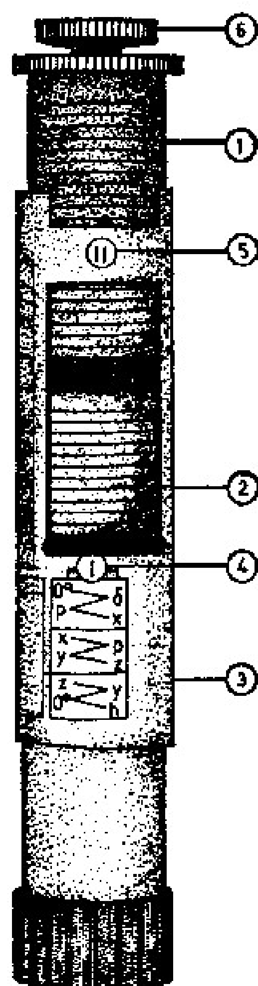


Fig. 15-15

Expresia (15-25) stă la baza calculării înălțimii astrului.

Privind ecuațiile (15-23), (15-24) și (15-25) se observă că ele conțin numai două funcții trigonometrice: cotangenta și cosinus. Ca urmare, s-a procedat la calcularea scărilor log ctg și log cos pentru unghiurile de la 0° la 180°, care au fost înfășurate pe doi cilindri (fig. 15-15): scara log ctg pe un cilindru interior (1), ce se poate roti și mișca axial, iar scara log cos pe un cilindru exterior fix (2).

Pe un manșon (3) exterior acestora sunt însemnați: indicele I(4) – pentru cilindrul exterior și indicele II(5) – pentru cilindrul interior; de asemenea, manșonul (3) poate fi rotit și mișcat axial.

După așezarea cilindrului interior la gradația dorită în dreptul indicelui II, prin rotirea și deplasarea sa axială, acesta se fixează prin răsucirea ușoară la stânga a unui tambur (6) aflat în partea superioară.

Calculul unghiului la zenit și a înălțimii se rezolvă prin rotirea și mișcarea axială a cilindrului interior (1) și a manșonului (3), până când mărimile arătate în schema* de mai jos sunt aduse succesiv în coincidență cu indicii I și II:

$$\begin{array}{ll} & \text{I} \qquad \text{II} \\ a & \begin{cases} \text{zero} \rightarrow \delta \\ \quad \swarrow \\ \quad P \rightarrow x \end{cases} \\ b & \begin{cases} x \rightarrow P \\ \quad \swarrow \\ y \rightarrow Z \end{cases} \\ c & \begin{cases} \quad Z \rightarrow Y \\ \quad \swarrow \\ \text{zero} \rightarrow h \end{cases} \end{array}$$

Cele trei serii de operații *a, b, c,* care se efectuează, rezolvă succesiv ecuațiile (15-23), (15-24) și (15-25): prima determină arcul auxiliar x, a doua – unghiul la zenit Z și ultima – înălțimea astrului h.

Studiul figurii (15-14) și analiza ecuațiilor (15-23), (15-24) și (15-25) conduc la stabilirea următoarelor reguli pentru rezolvarea practică a problemei cu rigla cilindrică:

d – mărimea arcului auxiliar x se citește în dreptul indicelui II cu valori mai mici sau mai mari de 90°, astfel:

$$x > 90° \text{ când } P > 90°;$$
$$x < 90° \text{ când } P < 90°;$$

e – arcul auxiliar Y se determină din colatitudinea $l = 90° - \varphi$ și arcul auxiliar x, astfel:

$Y = l + x$, când φ și δ sunt de același semn;

$Y = l - x$, când φ și δ sunt de semne contrarii.

f – unghiul la zenit Z se citește cu valori cuadrantale, mai mici de 90°. Originea de contare a unghiului la zenit, N sau S, se determină în funcție de valoarea lui Y, astfel:

– dacă $y < 90°$, unghiul la zenit se contează de la punctul cardinal N sau S, de nume contrar cu latitudinea observatorului;

– dacă $y > 90°$, unghiul la zenit se contează de la punctul cardinal N sau S, de același nume cu latitudinea observatorului.

Unghiul la zenit se contează spre est sau vest, corespunzător sensului unghiului la pol.

Unghiul la zenit cuadrantal astfel calculat se transformă în azimut pe baza relațiilor (15-2).

Utilizarea riglei cilindrice ușurează și reduce considerabil durata de calcul a înălțimii și azimutului unui astru, elemente principale necesare determinării astro-

* Schema de calcul este însemnată și pe manșonul exterior (3) al riglei cilindrice.

nomice a punctului navei; precizia calculării înălțimii și azimutului satisface exigențele practice ale navigației astronomice.

Exemplu: $\varphi = +44°43'$; $l = 90° - \varphi = 45°17'$; $\delta = +45°57'$; $P_E = 56°32'.6$. Să se calculeze înălțimea și azimutul.

Calculul h și Az se efectuează urmărind schema redată mai sus, astfel:

a – indicele I de pe cilindrul exterior (2) se pune la zero prin răsucirea manșonului (3);

– se rotește cilindrul interior (1) până ce indicele II ajunge în dreptul gradației $45°57' = \delta$, după care acesta se fixează prin răsucirea la stânga a tamburului (6);

– se rotește manșonul (3) până ce indicele I ajunge în coincidență cu gradația $56°32'.6 = P$;

– în dreptul indicelui II, pe cilindrul interior se citește $x = 61°55'.8$; arcul x s-a citit mai mic de 90°, deoarece $P < 90°$;

– se calculează $y = l + x = 45°17' + 61°55'.8 = 107°12'.8$; arcului x i s-a dat semnul plus deoarece φ și δ sunt de același semn;

b – se pune indicele I la gradația $61°55'.8 = x$ de pe cilindrul exterior (2), prin rotirea manșonului (3);

– se rotește cilindrul interior (1) până ce gradația $56°32'.6 = P$ ajunge în dreptul indicelui II, apoi se fixează;

– se rotește manșonul (3) până ce gradația $107°12'.8 = y$ de pe cilindrul exterior ajunge în coincidență cu indicele I;

– în dreptul indicelui II, pe cilindrul interior (1) se citește $Z = 67°26'.1$;

c – se pune indicele I la gradația $67°26'.1 = Z$ de pe cilindrul exterior (2), prin rotirea manșonului (3);

– se rotește cilindrul interior (1) până ce gradația $107°12'.8 = Y$ ajunge în dreptul indicelui II, apoi se fixează;

– se rotește manșonul (3) cu indicele I la zero de pe cilindrul exterior (2);

– în dreptul indicelui II, pe cilindrul interior (1) se citește $h = 51°05'.3$;

d – se calculează azimutul din unghiul la zenit Z:

$$Z = 67°26'.1 = 67°.4$$

Z = NE 67°.4 … unghiul la zenit se contează de la N deoarece $Y > 90°$ și spre E, pentru că unghiul la pol are sensul estic;

$$Az = Z = 67°.4 \text{ (relația 15-2)}$$

16 MIŞCAREA DIURNĂ A SFEREI CEREŞTI

§1 Cauza şi legile mişcării diurne

Mişcarea de rotaţie a Pământului are loc în jurul axei polilor tereştri, în sens direct (de la vest la est), în timp de o zi. Observatorul terestru nu poate să sesizeze această mişcare; contemplând bolta cerească în timpul unei nopţi, lui i se pare că sfera cerească este animată de o mişcare de rotaţie în sens retrograd (de la est la vest). Această mişcare aparentă a sferei cereşti, de sens invers faţă de cea de rotaţie a Pământului, se numeşte *mişcare diurnă.*

Ca urmare a mişcării diurne, observatorul care priveşte cerul înstelat constată după un interval de timp oarecare că aspectul sferei cereşti se schimbă: o serie de aştri apun spre vest, alţii răsar la est şi ansamblul aştrilor vizibili îşi schimbă continuu poziţia în raport cu elementele sferei cereşti, deplasându-se mereu spre vest.

Dacă acelaşi observator terestru ar avea posibilitatea să se deplaseze instantaneu pe suprafaţa Pământului, ar constata că aspectul cerului se schimbă şi în funcţie de latitudinea geografică.

Indiferent de poziţia observatorului pe Pământ şi de perioada anului, dacă se observă aceeaşi porţiune a cerului, se constată că stelele îşi păstrează poziţiile reciproce. Astfel, dacă pentru stabilirea poziţilor reciproce dintre stele s-ar măsura unghiurile dintre acestea, la anumite intervale de timp, s-ar constata că mărimile unghiulare se menţin invariabile. Menţinerea poziţiilor reciproce a stelelor a permis gruparea acestora în *constelaţii*, operă care revine antichităţii îndepărtate.

Observând sfera cerească dintr-un punct O de pe suprafaţa terestră, se constată că aştrii sunt animaţi de o mişcare de rotaţie în jurul unui punct fix: în emisfera cerească nordică acest punct este polul nord ceresc, iar în cea sudică – polul sud ceresc. *Mişcarea diurnă are loc în jurul axei lumii,* care este înclinată faţă de orizontul adevărat cu un unghi egal cu latitudinea φ a observatorului (fig. 16-1).

Dacă observăm poziţiile succesive ale unor stele în mişcarea lor diurnă, de exemplu ale stelelor A şi B din emisfera nordică, şi D din emisfera sudică, se constată că în timpul unei rotaţii complete a sferei cereşti, fiecare stea descrie un paralel de declinaţie. Steaua A descrie paralel de declinaţie aa', steaua B – paralelul bb' şi steaua D – paralelul dd'.

Deci, *mişcarea aparentă a unei stele în mişcarea diurnă a sferei cereşti are loc de-a lungul paralelului ei de declinaţie.*

Dacă se măsoară succesiv arcul de paralel de declinaţie descris de o stea în mişcarea diurnă într-un anumit interval de timp, se constată că acesta se menţine constant. Rezultă că *mişcarea diurnă a sferei cereşti este uniformă.*

Perioada unei mişcări diurne a sferei cereşti este constantă, egală cu durata unei rotaţii complete a Pământului în jurul axei sale; această durată este egală cu o *zi*

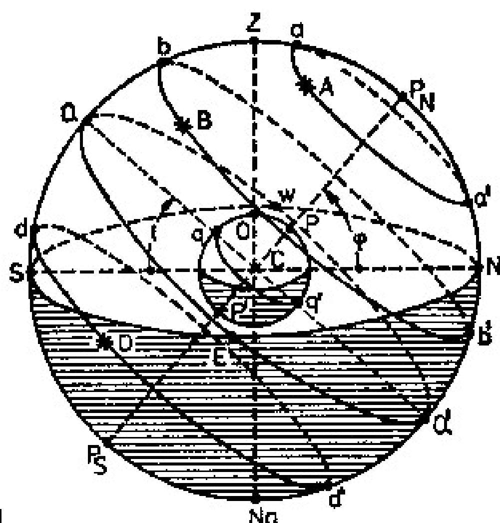


Fig. 16-1

siderală. Ziua siderală este intervalul de timp constant necesar unei stele ca să treacă de două ori consecutiv prin aceeaşi poziţie pe sfera cerească, de exemplu, prin meridianul ceresc al locului (vezi cap. 18, § 3).

În timpul unei zile siderale, fiecare stea descrie un paralel complet de declinaţie. Ca urmare a înclinării axei lumii faţă de orizontul adevărat, de un unghi egal cu latitudinea observatorului, planul ecuatorului ceresc şi al paralelului de declinaţie al unui astru este înclinat faţă de orizont cu un unghi egal cu colatitudinea $l = 90° - φ$. De aici derivă următoarele fenomene legate de mişcarea diurnă:

– aspectul general al mişcării diurne a sferei cereşti este funcţie de latitudinea observatorului;

– aspectul mişcării diurne a unui astru pentru un observator de o anumită latitudine este funcţie de declinaţia astrului.

Meridianul ceresc al locului joacă un rol important în studiul mişcării diurne; el este planul vertical de simetrie al mişcării diurne a fiecărui astru, deoarece conţine atât axa zenit-nadir a observatorului, cât şi axa lumii.

În cursul unei mişcări diurne complete, fiecare astru trece de două ori prin meridianul ceresc al locului. Anumiţi aştri trec şi prin orizontul adevărat, când *răsar* sau *apun*, alţii trec prin primul vertical. Fiecare din aceste *„treceri“* constituie o fază caracteristică a mişcării diurne, care se analizează în cele ce urmează.

Înţelegerea clară a fenomenelor ce derivă din mişcarea diurnă a sferei cereşti privind variaţia aspectului cerului la diferite latitudini, variaţia coordonatelor aştrilor etc... prezintă o importanţă deosebită în practica navigaţiei astronomice.

§2 Culminația aștrilor

Cele două treceri ale unui astru prin meridianul ceresc al locului în mișcarea diurnă a sferei cerești se numesc *culminații*: când astrul trece prin meridianul superior, se spune că se află la *culminația superioară;* când trece prin meridianul inferior, se află la *culminația inferioară.* Astfel, aștrii *A*, *B* și *D* din figura 16-1 au culminația superioară în *a, b* și *d,* iar culminația inferioară în *a′*, *b′* și *d′*.

În momentul culminației unui astru, cele trei puncte ce constituie vârfurile triunghiului sferic de poziție – zenitul, polul ridicat și astrul, se află în meridianul ceresc al observatorului.

Considerăm proiecția sferei cerești pe planul meridianului pentru un observator de latitudine φ (fig. 16-2). Culminația superioară a astrului *A* este în *a*. La culminația superioară unghiului orar *t* și unghiul la pol *P* al astrului sunt zero; înălțimea astrului atinge valoarea maximă $H = \sphericalangle a\ \ OS = \widehat{aS}$ și se numește *înălțime meridiană superioară*. Azimutul astrului este 180°, dacă culminația superioară a astrului are loc în meridianul sudic (cazul astrului *A*) sau 0°, când culminează în meridian nordic (cazul astrului *B*).

La culminația inferioară a astrului, unghiul orar și unghiul la pol sunt egale cu 180°; înălțimea astrului *A* atinge valoarea minimă h inf = $\sphericalangle a'ON = \widehat{a'N}$ și se numește *înălțime meridiană inferioară.*

Culminația unui astru poate prezenta următoarele cazuri particulare:

– *un astru are culminația superioară în zenit* (cazul astrului *C*), când declinația astrului δ este egală cu latitudinea observatorului φ și de același nume;

– *un astru are culminația superioară în orizont* (în S, cazul astrului *D*), când declinația astrului este egală cu colatitudinea *l* = 90° – φ și de nume contrar cu latitudinea;

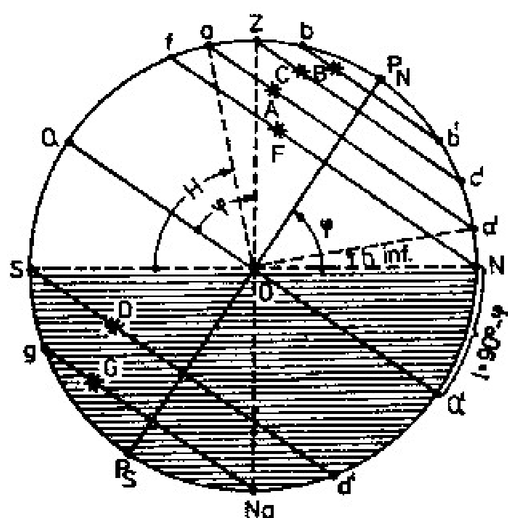


Fig. 16-2

– *astrul are culminația inferioară în orizont* (în N, cazul astrului *F*), când declinația astrului este egală cu colatitudinea *l* = 90° – φ și de același nume cu latitudinea;

– *astrul are culminația inferioară în nadir* (cazul astrului *G*), când are declinația egală cu latitudinea și de nume contrar.

§3 Aştri cu răsărit şi apus („aştri în parte vizibili")

Considerăm un astru B al cărui paralel de declinaţie bb' se intersectează orizontul adevărat al observatorului (fig. 16-3). În cursul mişcării sale diurne se spune că astrul *răsare*, când trece prin orizontul adevărat (prin punctul R), din emisfera invizibilă în cea vizibilă; astrul *apune*, când trece din emisfera vizibilă în cea invizibilă (prin punctul A). Prin urmare, punctele în care un astru *răsare* (R) sau *apune*, (A) se află la intersecţia orizontului adevărat al observatorului cu paralelul de declinaţie al astrului; linia R–A este paralelă cu linia est-vest.

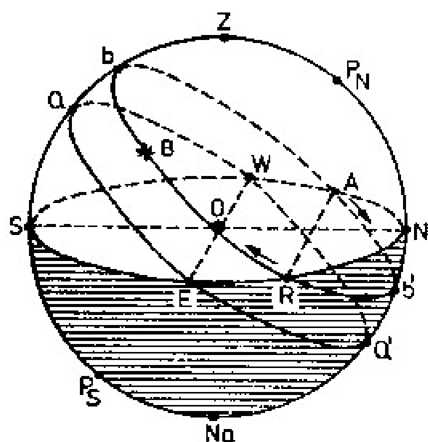


Fig. 16-3

Arcul $\widehat{RbA}$ al paralelului de declinaţie al astrului cuprins în emisfera vizibilă se numeşte *arc diurn*; arcul $\widehat{Ab'R}$ cuprins în emisfera invizibilă se numeşte *arc nocturn*. Pentru un observator la o latitudine oarecare, arcul diurn este egal cu cel nocturn când declinaţia astrului este zero. Toţi aştrii cu răsărit şi apus, care au declinaţia de acelaşi semn cu latitudinea, au arcul diurn mai mare decât cel nocturn; cei care au declinaţia de semn contrar cu latitudinea au arcul diurn mai mic decât cel nocturn. Când observatorul se află la ecuator ($\varphi = 0°$), toţi aştrii sunt cu răsărit şi apus şi au arcul diurn egal cu cel nocturn (vezi § 8).

Pentru ca un astru să aibă răsărit şi apus, trebuie ca paralelul de declinaţie al acestuia să taie orizontul adevărat al observatorului. Proiecţia pe meridianul ceresc al observatorrului din figura 16-2 arată că această condiţie este îndeplinită de aştrii ale căror paralele de declinaţie sunt cuprinse între fN şi Sd', ale aştrilor F şi respectiv D, care au una din culminaţii în orizont (vezi § 2), deci: *pentru ca un astru să aibă răsărit şi apus, trebuie ca declinaţia sa δ, în valoare absolută, să fie mai mică decât colatitudinea* $l = 90° - \varphi$.

Când astrul se află în orizont, la răsărit sau apus, triunghiul sferic dreptunghic devine rectilateral, deoarece distanţa zenitală $z = 90°$, înălţimea fiind zero.

Considerând formula înălţimii (15-7):

$$\sin h = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos P$$

pentru cazul când $h = 0°$, relaţia care exprimă unghiul la pol devine:

$$\cos P = -\operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \delta \qquad (16\text{-}1)$$

În formula (15-11) pentru calculul declinației:

$\sin\delta = \sin\varphi \sin h + \cos\varphi \cos h \cos Z$

presupunând $h = 0°$, ecuația care exprimă unghiul la zenit devine:

$$\cos Z = \frac{\sin\delta}{\cos\varphi} = \sin\delta \sec\varphi \qquad (16\text{-}2)$$

Formula (16-1) se folosește pentru calculul orei răsăritului și apusului adevărat al unui astru, iar (16-2) la calculul azimutului în momentul răsăritului și apusului adevărat.

Analizând formula (16-2) pentru calculul unghiului la zenit Z se observă că deoarece $\varphi < 90°$, $\cos\varphi$ este întotdeauna pozitiv, deci $\cos Z$ are semnul lui $\sin\delta$; de aici rezultă următoarele:

– dacă declinația este nulă, astrul răsare în E și apune în W;

– dacă declinația este pozitivă, astrul răsare în cadranul NE și apune în cadranul NW;

– dacă declinația este negativă, astrul răsare în cadranul SE și apune în cadranul SW.

§4 Aștri circumpolari

Aștrii al căror paralel de declinație nu taie orizontul adevărat par a se roti în jurul polului ceresc de același nume cu declinația (cazul astrului A din fig. 16-1), fără să răsară sau să apună; de aici derivă denumirea lor de *aștri circumpolari*.

Considerăm o proiecție a sferei cerești pe planul meridianului pentru un observator de latitudine nordică φ (fig. 16-4). Astrul A are culminația inferioară în N pe orizontul adevărat, deoarece are declinația egală cu colatitudinea $l = 90° - \varphi$ și de același nume cu latitudinea.

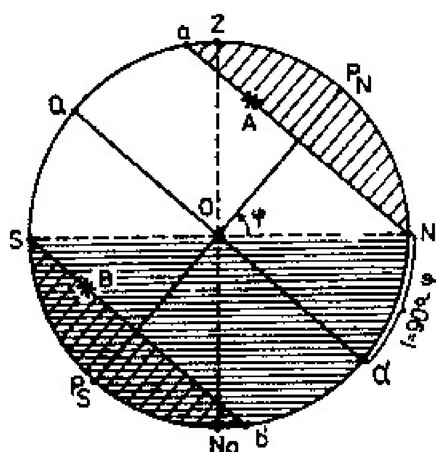


Fig. 16-4

Toți aștrii conținuți în calota sferică aNP_N, cuprinsă între polul ridicat și planul paralelului de declinație aN de $\delta = l$ și de același nume cu φ, sunt *aștri circumpolari vizibili*.

Rezultă că aștrii circumpolari vizibili au declinația mai mare decât colatitudinea și de același nume cu latitudinea observatorului.

Aștrii circumpolari vizibili au atât culminația superioară, cât și cea inferioară cuprinse în emisfera vizibilă.

Astrul B, de declinație egală cu colatitudinea $l = 90° - \varphi$ și de nume contrar cu latitudinea, are culminația superioară în orizontul adevărat (în punctul S).

Toți aștrii conținuți în calota sferică $b'\,SP_S$, cuprinsă între polul coborât și planul paralelului de declinație Sb' de $\delta = l$ și de nume contrar cu φ, sunt *aștri circumpolari invizibili.*

Rezultă că aștrii circumpolari invizibili au declinația mai mare decât colatitudinea și de nume contrar cu latitudinea observatorului.

În concluzie, se poate spune că *aștrii circumpolari sunt aceia care au declinația, în valoare absolută, mai mare decât colatitudinea.*

§5 Aștri care taie primul vertical. Aștri care nu taie primul vertical

1 Aștri care taie primul vertical

Presupunem un observator de latitudine nordică φ; figura 16-5 reprezintă proiecția sferei cerești pe meridianul locului.

Astrul A are culminația superioară în zenit, deoarece $\delta = \varphi$ și de același nume. Astrul B are culminația inferioară în nadir, deoarece $\delta = \varphi$ și de nume contrarii. Toți aștrii care sunt cuprinși între paralelele de declinație ale aștrilor A și B taie primul vertical.

Condiția ca un astru să taie primul vertical este ca declinația sa, în valoare absolută, să fie mai mică decât latitudinea observatorului.

În timpul mișcării diurne, azimutul aștrilor care taie primul vertical ia toate valorile cuprinse între 0° și 360°.

În momentul când un astru A se află în primul vertical, unghiul la zenit $Z = 90°$; triunghiul sferic de poziție ZP_NA (fig. 16-6) devine deci dreptunghic în Z.

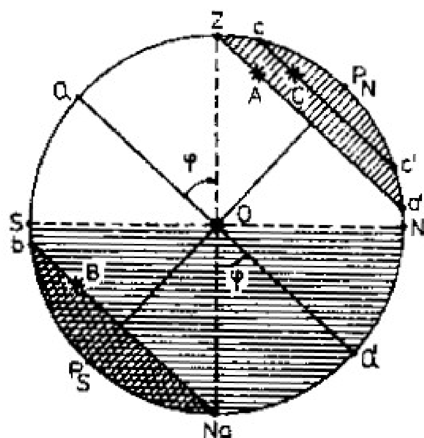


Fig. 16-5

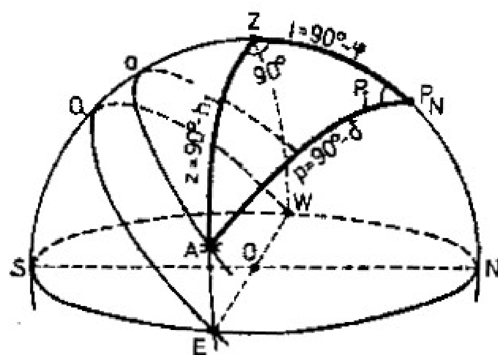


Fig. 16-6

Înălțimea astrului în primul vertical h_I se obține din triunghiul sferic dreptunghic ZP_NA, prin formula:

$$\cos(90° - \delta) = \sin h_I \sin \varphi$$

de unde:

$$\sin h_I = \sin \delta \operatorname{cosec} \varphi \qquad (16\text{-}3)$$

Formula (16-3) poate fi dedusă și din ecuația (15-11) considerând $Z = 90°$.

Unghiul la pol al astrului în primul vertical ***P*** se deduce astfel:

$$\cos P_I = \operatorname{ctg}(90° - \delta) \operatorname{ctg} \varphi$$

de unde:

$$\cos P_I = \operatorname{tg} \delta \operatorname{ctg} \varphi \qquad (16\text{-}4)$$

Formula (16-4) poate fi obținută și din expresia (15-12), dând lui Z valoarea de 90°.

Formula (16-3) stă la baza întocmirii tablelor 21-*b* din *Tablele Nautice MT-53* pentru calculul *înălțimii aștrilor în primul vertical*, iar formula (16-4) pentru întocmirea tablei 21-a, ce conține *unghiul la pol al aștrilor în primul vertical*, ambele table având argumentele de intrare δ și φ. Atât h_I cât și P_I servesc la determinarea originii de contare a unghiului la zenit cuadrantal.

De asemenea, formula (16-4) servește și la stabilirea orei trecerii unui astru prin primul vertical, ce prezintă interes la determinarea momentului optim executării observațiilor la aștri pentru calculul separat al longitudinii.

2 Aștri care nu taie primul vertical. Digresiunea maximă

Aștrii din calotele sferice $Za'P_N$ și $NabP_S$ nu taie primul vertical (fig. 16-5); ținând seama de valoarea declinației aștrilor *A* și *B*, *rezultă că nu taie primul vertical acei aștri care au declinația, în valoare absolută, mai mare decât latitudinea.*

Aștrii care nu taie primul vertical au atât culminația inferioară, cât și cea superioară în meridianul ceresc nordic sau sudic, de același nume cu latitudinea; de exemplu, astrul *C* (fig. 16-5) are ambele culminații în meridianul nordic, deoarece

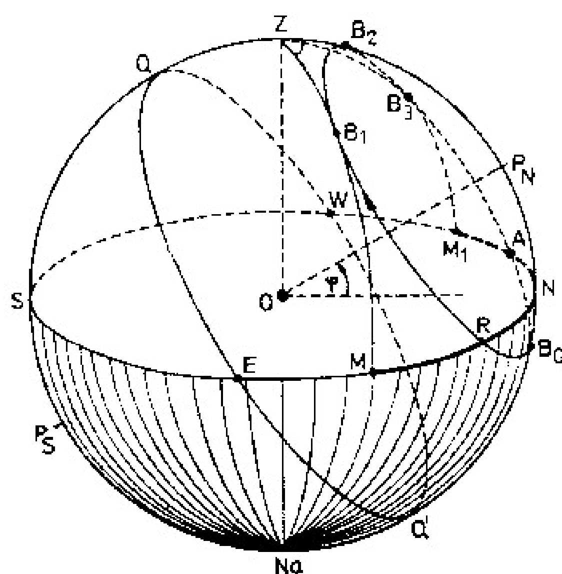


Fig. 16-7

latitudinea observatorului este nordică. Acest fapt face ca variaţia azimutului să prezinte o anumită particularitate, ce are importanţă în practica navigaţiei astronomice.

Pentru elucidarea acestui fapt să considerăm un observator la o latitudine nordică φ (fig. 16-7) şi un astru B, de declinaţie de asemenea nordică, care nu taie primul vertical ($\delta > \varphi$ şi de acelaşi nume). Astrul are culminaţia inferioară în Bo şi răsare în R; în continuarea mişcării sale diurne, azimutul creşte până când astrul ajunge în B_1, punctul în care paralelul de declinaţie este tangent la verticalul ZM. Când astrul ajunge în această poziţie, se spune că se află la *digresiunea maximă la est*, în care azimutul atinge valoarea maximă la est, egală cu arcul de orizont $\widehat{NM}$.

În continuare, azimutul scade pe măsura apropierii astrului de meridian şi devine zero la culminaţia superioară, în B_2; astrul trece apoi în emisfera vestică, azimutul scade de la 360° până la o valoare minimă spre vest egală cu $360° - \widehat{NM}_1$, când astrul trece prin *digresiunea maximă la vest* (în punctul B_3), după care azimutul creşte din nou, până ce astrul apune în A. După cum se observă astrul B nu taie primul vertical şi este cu răsărit şi apus ($\delta < l$).

Pentru un astru care nu taie primul vertical ($\delta > \varphi$ şi de acelaşi nume cu latitudinea) şi circumpolar ($\delta > l$ şi de acelaşi nume cu φ), care are deci şi culminaţia inferioară în emisfera vizibilă, variaţia azimutului este următoarea: zero la culminaţia inferioară, creşte până la o valoare maximă, când astrul ajunge la *digresiunea maximă la est* şi scade apoi la zero, la culminaţia superioară; scade apoi de la 360° până la o valoare minimă, când astrul atinge *digresiunea maximă la vest*, după care creşte din nou spre 360°, valoare pe care o ia la culminaţia inferioară.

Când astrul se află la digresiunea maximă, triunghiul sferic de poziţie $ZPNB_1$ devine dreptunghic în astru, unghiul paralactic este 90°, cercul orar PNB_1 fiind perpendicular pe verticalul astrului ZB_1 (fig. 16-8). Unghiul la zenit, unghiul la pol şi înălţimea astrului la digresiunea maximă pot fi determinate prin rezolvarea triunghiului sferic dreptunghic $ZPNB_1$:

– unghiul la zenit Z se deduce din relaţia:

$$\cos\delta = \sin Z \sin(90° - \varphi)$$

de unde:

$$\sin Z = \cos\delta \sec\varphi \qquad (16\text{-}5)$$

– unghiul la pol P din expresia:

$$\cos P = \text{ctg}\,\delta\, \text{ctg}(90° - \varphi)$$

sau:

$$\cos P = \text{ctg}\,\delta\, \text{tg}\,\varphi \qquad (16\text{-}6)$$

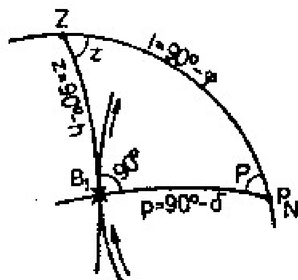


Fig. 16-8

– și înălțimea h din formula:

$$\cos(90° - \varphi) = \sin\delta \sin h$$

de unde:

$$\sin h = \sin\varphi \operatorname{cosec}\delta \qquad (16\text{-}7)$$

În cazul limită al unui astru care are culminația în zenit (astrul A din fig. 16-5), deci $\delta = \varphi$ și de același nume, digresiunea maximă este în zenit, paralelul de declinație al astrului fiind tangent la primul vertical în acest punct. În acest caz, pentru un observator în emisfera nordică, azimutul variază astfel: zero la culminația inferioară

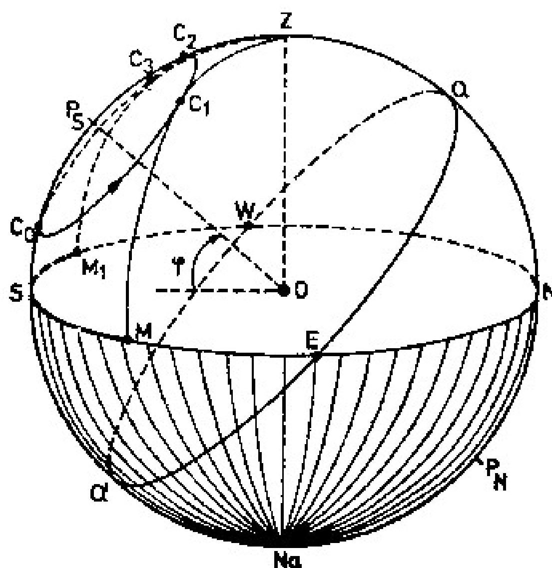


Fig. 16-9

crește până la culminația superioară în zenit, care se confundă cu digresiunea maximă la est – când azimutul atinge valoarea maximă spre est, de 90°; astrul trece apoi la digresiunea maximă la vest, când azimutul este 270°, după care crește până la 360°, la culminația inferioară.

Să presupunem acum un observator la o latitudine sudică φ și un astru C, de declinație de asemenea sudică, care nu taie primul vertical (fig. 16-9). Azimutul acestui astru de declinație sudică variază astfel: 180° la culminația inferioară, în poziția Co, scade până la o valoare minimă spre est, unde $Az = 180° - \widehat{SM}$, când astrul ajunge în C_1 la digresiunea maximă la est, după care crește la 180°, la culminația superioară (în C_2); astrul trece apoi în emisfera vestică, azimutul crește de la 180° până la o valoare maximă spre vest... $Az = 180° + \widehat{SM}_1$, când ajunge în C_3 la digresiunea maximă la vest, după care scade la 180°, la culminația inferioară (în Co).

În cazul limită, când astrul de declinație sudică culminează în zenit ($\delta = \varphi$ și de același nume), azimutul variază astfel: 180° la culminația inferioară, scade la 90° când astrul ajunge la culminația superioară, în zenit; trece apoi la vest, azimutul devine 270°, după care scade la 180°, valoare care este atinsă când astrul ajunge din nou la culminația inferioară.

Înțelegerea clară a acestor particularități ale mișcării diurne ale unui astru care nu taie primul vertical prezintă o importanță practică deosebită în navigația astro-

nomică cu observații la Soare, în zone de latitudini mici, ecuatoriale și tropicale, în perioada de vară a emisferei terestre respective. În acest caz, măsurile practice care se impun în executarea observațiilor la Soare pentru determinarea punctului navei derivă din cunoașterea acestor particularități. Și nu trebuie uitat că în multe din aceste zone maritime și oceanice, asigurarea de navigație limitată a litoralului face ca navigația astronomică să constituie încă sistemul principal nu numai la larg, ci uneori chiar în apropierea coastelor (cazul zonei costiere din sudul Peninsulei Arabice etc.).

§6 Variația coordonatelor sferice locale ale aștrilor în mișcarea diurnă

La cap. 15 am văzut că sistemul de coordonate orizontale, precum și unghiul orar și unghiul la pol al unui astru – din sistemul de coordonate ecuatoriale, sunt denumite și *coordonate* sferice locale, deoarece mărimea lor variază și funcție de locul observatorului pe sfera terestră. Să vedem cum variază aceste coordonate în timpul mișcării diurne a unui astru.

1 Variația unghiului orar

Unghiul orar t al unui astru este coordonata sferică locală caracteristică mișcării diurne; este zero la culminația superioară (fig. 16-1), *crește uniform urmărind astrul în mișcarea sa diurnă*, devine 180° la culminația inferioară și atinge valoarea de 360° când astrul revine la meridianul superior, după o mișcare diurnă completă.

Dată fiind variația sa uniformă de la 0° la 360°, unghiul orar a fost considerat drept coordonata sferică cerească cea mai indicată pentru măsurarea timpului.

2 Variația unghiului la pol

Variația unghiului la pol P al unui astru în mișcarea diurnă are aceeași caracteristică: este zero la culminația superioară, *crește uniform* în emisfera vestică urmărind astrul în mișcarea sa diurnă până la 180°, când astrul ajunge la culminația inferioară; *scade apoi uniform* în emisfera estică, de la 180° la 0°, când astrul revine în meridianul superior, după o mișcare diurnă completă.

3 Variația azimutului

Azimutul măsurându-se de-a lungul orizontului, care este înclinat față de ecuator de un unghi egal cu colatitudinea $l = 90° - \varphi$, *are o variație neuniformă* în timpul mișcării diurne; azimutul are o variație uniformă numai în cazul unui

observator aflat în unul din polii tereștri, când orizontul se confundă cu ecuatorul ceresc (vezi fig. 16-12).

Considerăm formula (15-12) pentru calculul azimutului din φ, δ și P:

$$\text{ctg } Z = \text{tg } \delta \cos \varphi \text{ cosec } P - \sin\varphi \text{ ctg. } P.$$

Dacă *observatorul este la ecuator* (φ = 0°), relația care exprimă unghiul la zenit devine:

$$\text{ctg } Z = \frac{\text{tg } \delta}{\sin P} \tag{16-8}$$

Pentru un *observator situat la ecuator,* toți aștrii sunt din categoria celor care nu taie primul vertical (vezi fig. 16-11), prezentând o digresiune maximă la est și una la vest; azimutul unui astru variază în funcție de unghiul la pol în formă sinusoidală, în modul prezentat la § 5, punctul 2.

Când observatorul se află în unul din polii tereștri (φ = 90°), formula (15-12) pentru calculul unghiului la zenit devine:

$$\text{ctg } Z = \text{ctg } P \tag{16-9}$$

variația azimutului funcție de unghiul la pol fiind deci liniară.

Pentru un observator situat la o latitudine oarecare φ azimutul variază astfel:

– *dacă declinația astrului este mai mică decât latitudinea observatorului,* în *valoare absolută,* astrul taie primul vertical, iar azimutul, în timpul mișcării diurne, variază de la 0° la 360°;

– *dacă declinația astrului este egală cu latitudinea observatorului și de același nume,* astrul culminează în zenit; azimutul astrului variază în modul indicat la § 5, punctul 2;

– *dacă declinația astrului este mai mare decât latitudinea observatorului și de același nume,* astrul nu taie primul vertical în emisfera vizibilă; azimutul variază în forma indicată la § 5, punctul 2.

Pentru a stabili *relația care exprimă variația azimutului în funcție de variația unghiului la pol,* considerăm expresia obținută prin aplicarea formulei cotangentelor în triunghiul sferic de poziție pentru elementele consecutive Z, l, P și p (vezi cap. 15, § 3, pct. 4):

$$\text{ctg } Z \sin P = \text{tg } \delta \cos \varphi - \sin \varphi \cos P$$

pe care o diferențiem în raport de variabilele Z și P, φ și δ fiind constante:

$$-\frac{\sin P}{\sin^2 Z}\text{d}Z + \text{ctg } Z \cos P \,\text{d}P = \sin \varphi \sin P \,\text{d}P$$

de unde:

$$\text{d}Z = \frac{(\text{ctg } Z \cos P - \sin \varphi \sin P)\sin^2 Z}{\sin P}\text{d}P$$

sau:

$$\text{d}Z = (\text{ctg } P \cos Z \sin Z - \sin \varphi \sin^2 Z)\text{d}P$$

în care considerând $\sin^2 Z = 1 - \cos^2 Z$ devine:

$$dZ = [(\text{ctg } P \sin Z + \sin \varphi \cos Z) \cos Z - \sin \varphi]\, dP \qquad (16\text{-}10)$$

Din aplicarea formulei cotangentelor în triunghiul sferic de poziție pentru elementele consecutive z, Z, l și P rezultă (vezi cap. 15, § 3, pct.5):

$$\text{ctg } P \sin Z = \text{tg } h \cos \varphi - \sin \varphi \cos Z$$

de unde:

$$\text{tg } h \cos \varphi = \text{ctg } P \sin Z + \sin \varphi \cos Z \qquad (16\text{-}11)$$

Introducând expresia (16-11) în (16-10):

$$dZ = (\text{tg } h \cos \varphi \cos Z - \sin \varphi)\, dP$$

și trecând la creșteri finite se obține:

$$\Delta Z = -(\sin \varphi - \text{tg } h \cos \varphi \cos Z)\, \Delta P \qquad (16\text{-}12)$$

Relația (16-12) arată că la o anumită latitudine, variația azimutului funcție de variația unghiului la pol este cu atât mai mare, cu cât înălțimea este mai mare, fiind maximă la culminația astrului.

În momentul răsăritului sau apusului astrului, când $h = 0°$, variația azimutului este mică; această proprietate este folosită în navigație pentru determinarea corecției compasului prin observarea unui astru la răsărit sau apus.

4 Variația înălțimii

La *aștrii cu răsărit și apus* (fig. 16-3), înălțimea este zero la răsărit, crește în emisfera estică până la o înălțime maximă H când astrul ajunge la culminația superioară, descrește în emisfera vestică până la zero, la apus. În emisfera invizibilă înălțimea este negativă, atingând valoarea maximă negativă la culminația inferioară.

La *aștrii care culminează în zenit,* înălțimea devine 90° în momentul culminației (fig. 16-5, astrul A_1).

La *aștrii circumpolari vizibili* (fig. 16-5, astrul C), înălțimea este minimă la culminația inferioară, crește în emisfera estică până la valoarea maximă H la culminația superioară, descrește în emisfera vestică până la valoarea minimă în meridianul inferior, după o mișcare diurnă completă.

Pentru a stabili relația care exprimă variația înălțimii în funcție de variația unghiului la pol, considerăm formula (15-7):

$$\sin h = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos P$$

pe care o diferențiem în raport de variabilele h și P, φ și δ fiind constante:

$$\cos h\, dh = \cos \varphi \cos \delta\, (-\sin P)\, dP$$

sau:

$$\cos h\, dh = -\cos \varphi \cos \delta \sin P\, dP \qquad (6\text{-}13)$$

Aplicând formula sinusurilor în triunghiul sferic de poziție pentru elementele z. Z, P și p se obține (vezi cap. 15, § 3, pct. 7):

$$\frac{\sin Z}{\cos \delta} = \frac{\sin P}{\cos h}$$

de unde:

$$\cos \delta = \frac{\sin Z \cos h}{\sin P} \qquad (16\text{-}14)$$

Introducând expresia (16-14) în (16-13):

$$\cos h \, dh = - \frac{\sin Z \cos h}{\sin P} \cos \varphi \sin P \, dP$$

de unde:

$$dh = - \sin Z \cos \varphi \, dP$$

și trecând la creșteri finite se obține:

$$\Delta h = - \sin Z \cos \varphi \, \Delta P \qquad (16\text{-}5)$$

Formula (16-5) arată că la o latitudine oarecare φ, la culminația astrului ($Z = 0$ sau $180°$... $\sin Z = 0$), variația înălțimii este nulă și neînsemnată, când astrul se află în apropierea meridianului, înainte sau după culminație.

Când astrul taie primul vertical ($Z = 90°$... $\sin Z = 1$), variația înălțimii este maximă; dacă astrul nu taie primul vertical, variația maximă a înălțimilor are loc când astrul se află la digresiunea maximă (Z devine maxim).

Formula (16-5) arată că înălțimea *crește* în emisfera estică, deoarece unghiul la pol estic descrește (ΔP este negativ) și *descrește* în emisfera vestică (ΔP este pozitiv, deoarece P_w crește).

Variația înălțimii aștrilor funcție de latitudine este maximă când observatorul este la ecuator ($\varphi = 0°$... $\cos \varphi = 1$) și nulă când se află în unul din polii tereștri ($\varphi = \pm 90°$... $\cos \varphi = 0$).

§7 Aspecte ale mișcării diurne funcție de latitudinea observatorului

1 Observatorul se află la o latitudine oarecare?

Așa după cum s-a văzut, aspectul sferei cerești în mișcarea diurnă este funcție de latitudinea observatorului. Pentru concretizare să considerăm un observator la latitudinea $\varphi = +50°$, colatitudinea $l = 40°$; pentru acest observator,

din punct de vedere al mișcării diurne, aștrii prezintă următoarele caracteristici (fig. 16-10):

– sunt *aștri circumpolari vizibili* cei care au declinația cuprinsă între +40° și +90° (cuprinși în calota sferică a polului ridicat P_N, delimitată de paralelul de declinație al astrului *B*);

– *culminează în zenit* aștrii care au $\delta = +50°$ (cazul astrului *A*);

– *nu taie primul vertical în emisfera vizibilă* aștrii care au declinația între +50° și +90° (cuprinși în calota sferică a polului ridicat P_N, delimitată de paralelul de declinație al astrului *A*);

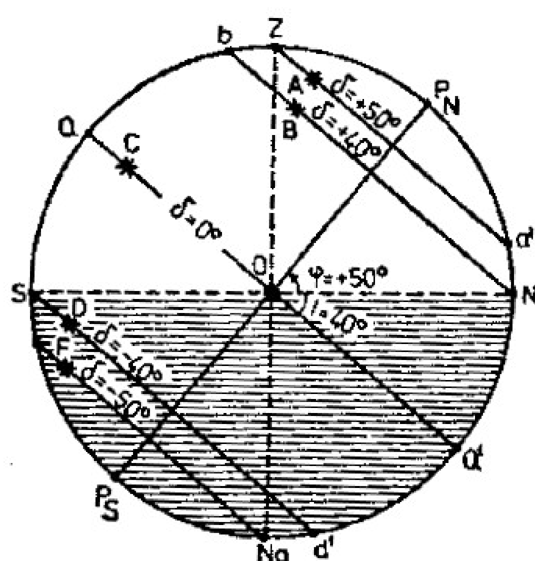


Fig. 16-10

- *au răsărit și apus* aștrii a căror declinație este cuprinsă între limitele de ± 40° (cuprinși între paralelele de declinație ale aștrilor *B* și *D*). Astrul *B* are culminația inferioară în orizont; astrul *D* are culminația superioară în orizont.

Aștrii care au $\delta = 0°$ (cazul astrului *C*) răsar în E, apun în W și au arcul diurn egal cu cel nocturn. Aștrii care au declinația cuprinsă între 0° și +40° au arcul diurn mai mare decât cel nocturn; cei care au declinația cuprinsă între 0° și −40° au arcul diurn mai mic decât cel nocturn;

– aștrii care au declinația cuprinsă între −40° și −90° sunt *circumpolari invizibili* (cuprinși în calota sferică a polului coborât P_s, delimitată de paralelul de declinație al astrului D);

– *au culminația inferioară în nadir* aștrii care au $\delta = -50°$ (cazul astrului *F*);

– *nu taie primul vertical în emisfera invizibilă* aștrii care au declinația cuprinsă între – 50° și −90°.

Coordonatele locale ale diferitelor categorii de aștri variază în timpul mișcării diurne în modul indicat mai sus, la §6.

2 Observatorul la ecuatorul terestru ($\varphi = 0°$)

Axa lumii se află în orizontul adevărat, marcând punctele cardinale N şi S (fig. 16-11). Ecuatorul ceresc trece prin zenit şi nadir, confundându-se cu primul vertical.

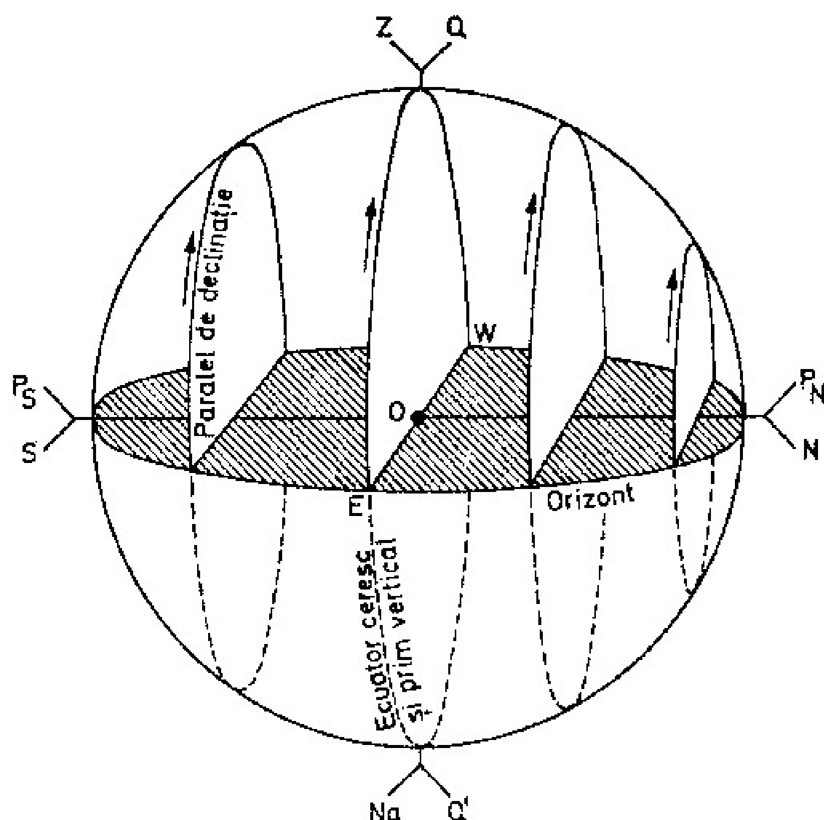


Fig. 16-11

Paralelele de declinaţie ale aştrilor sunt perpendiculare pe orizontul adevărat, deci *toţi aştrii au răsărit şi apus, arcul lor diurn fiind egal cu cel nocturn;* pentru observatorul de la ecuatorul terestru nu există o altă categorie de aştri. Observatorul vede aştrii ridicându-se perpendicular pe orizont la răsărit şi coborând perpendicular la apus.

Steaua Polară se vede în orizont sau foarte aproape de acesta spre nord.

3 Observatorul în unul din polii tereştri ($\varphi = 90°$ N sau 90°S)

În figura 16-12 considerăm observatorul în polul nord ($\varphi = 90°$N). Axa lumii se confundă cu linia zenit-nadir şi ecuatorul ceresc cu orizontul adevărat. Paralelele de declinaţie se confundă cu paralelele de înălţime; din felul în care se prezintă elementele sferei cereşti derivă următoarele particularităţi ale mişcării diurne:

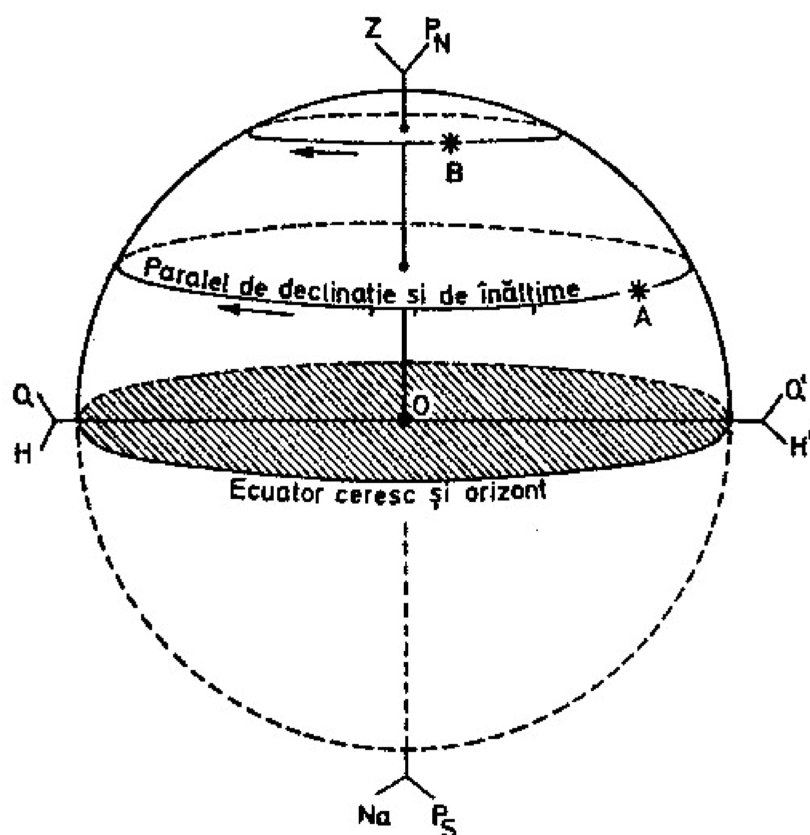


Fig. 16-12

– aştrii cu declinaţia nordică sunt *circumpolari vizibili* şi cei cu declinaţia sudică sunt *circumpolari invizibili*. Pentru observatorul de la pol nu există o altă categorie de aştri;

– înălţimea stelelor se menţine constantă pe timpul mişcării diurne, fiind egală cu declinaţia lor;

– deoarece axa lumii se confundă cu linia zenit-nadir şi ecuatorul ceresc cu orizontul, meridianul ceresc şi punctele cardinale N, E, S, W sunt nedeterminate.

Steaua polară, a cărei distanţă polară este aproape 1°, se menţine în apropierea zenitului.

Când observatorul se află la polul sud terestru ($\varphi = 90°S$), sensul liniei zenit-nadir se inversează, zenitul confruntându-se cu acest pol. Aştrii cu declinaţia sudică devin circumpolari vizibili, iar cei cu declinaţia nordică – circumpolari invizibili.

17 MIŞCĂRILE APARENTE ALE AŞTRILOR SISTEMULUI SOLAR

§1 Generalităţi

Să ne imaginăm că la un moment dat s-ar opri mişcarea de rotaţie a Pământului în jurul axei sale şi astfel sfera cerească ar deveni imobilă; în această situaţie ipotetică, observatorul ar distinge pe bolta cerească două categorii de aştri: *„aştri ficşi"* şi *„aştri rătăcitori"*, animaţi de anumite mişcări aparente proprii printre cei ficşi.

Aştrii ficşi sunt *stelele*, care îşi menţin poziţiile lor reciproce în spaţiu; direcţia la o stea ar părea că se menţine aceeaşi, nu datorită faptului că aceasta ar fi imobilă în spaţiu, ci ca urmare a distanţei sale imense faţă de planeta noastră, de ordinul *anilor lumină*, ceea ce face ca atât mişcarea proprie a stelei cât şi cea de translaţie a Pământului în jurul Soarelul să rămână imperceptibile observatorului terestru. Coordonatele ecuatoriale ale stelelor, ascensiunea dreaptă şi declinaţia, rămân aproape aceleaşi de la un an la altul; de aceea, stelele pot fi considerate practic ca aştri ficşi pe sfera cerească, fenomen care explică denumirea de „fixe" dată stelelor încă din antichitate.

Ca urmare, în rândul corpurilor cereşti, stelele au mişcarea aparentă cea mai simplă pe sfera cerească: *ele sunt animate numai de mişcarea diurnă.*

Dimpotrivă, în ipoteza formulată, observatorul terestru ar vedea un număr restrâns de alte corpuri cereşti, „rătăcind" printre stele. *Aştrii rătăcitori* sunt aştrii sistemului solar, compus din Soare şi o serie de planete, care gravitează în jurul acestuia; în jurul anumitor planete gravitează o serie de sateliţi, cum sunt satelitul planetei noastre – Luna. De altfel, însăşi denumirea de *planetă* dată în antichitate acestor corpuri cereşti însemna „astru rătăcitor".

Mişcările aparente printre stele ale Soarelui, Lunii şi ale planetelor sunt consecinţa faptului că distanţele faţă de Pământ ale acestora sunt incomparabil mai mici decât la stele, ceea ce face ca mişcările proprii ale aştrilor sistemului solar să devină perceptibile observatorului terestru.

Să revenim acum la situaţia normală, lăsând Pământul să se rotească în jurul axei sale. Mişcările aparente ale aştrilor sistemului solar observate de pe Pământ rezultă din compunerea mişcării diurne cu mişcarea aparentă proprie a fiecăruia dintre aştri; desigur, între acestea, mişcarea diurnă cauzată de rotaţia Pământului are acţiune preponderentă.

Din rândul aştrilor sistemului solar prezintă interes pentru navigaţia astronomică doar cei care se observă uşor cu ochiul: Soarele, Luna şi patru planete – Venus, Marte, Jupiter şi Saturn.

Dacă dintr-un punct oarecare de pe Pământ se procedează la observarea comparativă a mişcării diurne a unei stele cu a unui astru din sistemul solar, se constată că steaua îşi menţine mişcarea aparentă pe acelaşi paralel de declinaţie, pe când paralelul de declinatie al astrului sistemului solar diferă de la o zi la alta; particularităţile mişcării diurne a astrului sistemului solar se manifestă astfel:

– steaua răsare şi apune în acelaşi punct de pe orizont, pe când astrul din sistemul solar răsare şi apune în puncte diferite;

– intervalul de timp dintre două culminaţii consecutive ale stelei la meridianul observatorului este constant, pe când al astrului din sistemul solar este variabil. Astfel, intervalul de timp cel mai mare este în cazul Lunii, indicând mişcarea aparentă proprie în sens direct cea mai pronunţată din rândul aştrilor sistemului solar;

– înălţimea meridiană a stelei se menţine aceeaşi, pe când cea a astrului din sistemul solar variază de la o zi la alta;

– arcul diurn şi cel nocturn al stelei se menţin aceleaşi, pe când al astrului din sistemul solar variază.

De altfel, mişcarea aparentă proprie a Lunii şi a planetelor poate fi constatată uşor prin simpla observare a acestora în comparaţie cu o stea cunoscută din apropiere: de la seară la seară se constată că Luna se deplasează în mod evident în sens direct (de la vest la est) printre stele; mişcarea aparentă a planetelor se observă că este neregulată, putând urma traiectorii foarte diferite.

Observatorul de la bordul navelor de cursă lungă, pasionat de contemplarea cerului, care îşi schimbă mereu aspectul odată cu deplasarea pe noi paralele de latitudine, trebuie să se antreneze în observarea acestor fenomene, de importanţă practică în navigaţia astronomică.

Desigur, în legătură cu mişcările aştrilor sistemului solar sunt multe aspecte frumoase şi interesante; în cele ce urmează, volumul restrâns al lucrării ne constrânge să ne limităm doar la acelea care prezintă interes practic pentru navigaţia astronomică.

Pentru studiul succint al mişcărilor aparente ale aştrilor sistemului solar se impune mai întâi să ne reamintim legile fundamentale care guvernează mişcările aştrilor sistemului solar.

§2 Legile care guvernează mişcările proprii ale aştrilor sistemului solar

Determinarea poziţiei aştrilor sistemului solar pe baza *principiului gravitaţiei universale* constituie obiectul de studiu al *mecanicii cereşti*.

În studiul mişcării unei planete în jurul Soarelui sau a unui satelit – faţă de planeta în jurul căreia gravitează, mecanica cerească procedează mai întâi la un calcul aproximativ, luând în consideraţie doar cei doi aştri: astrul gravitat şi cel în jurul căruia gravitează. Traiectoria astfel determinată este eliptică, confirmând *legile lui Kepler*.

Calculul aproximativ astfel efectuat se corectează apoi funcţie de *perturbaţiile* provocate mişcării eliptice sub acţiunea atracţiei altor aştri ai sistemului solar.

1 Legea gravitației universale

Newton are meritul enunțării principiului gravitații universale, care explică existența și stabilitatea sistemului solar, mișcările planetelor în jurul Soarelui și a sateliților în jurul planetelor respective, fără a se îndepărta de orbitele lor, datorită atracției pe care corpurile principale o exercită asupra corpurilor gravitante. Concepția sa a fost formulată în trei legi, care constituie principiile fundamentale ale mecanicii clasice și ale mecanicii cerești:

a – Principiul inerției („lex prima"): *„un corp își păstrează starea de repaus sau de mișcare rectilinie și uniformă, atât timp cât nu intervine vreo forță care să-i modifice această stare".*

b – Principiul independenței acțiunii forțelor („lex secunda"): *„efectul unei forțe asupra unui corp independent de viteza lui, precum și de acțiunile altor forțe".*

c – Principiul acțiunii și reacțiunii („lex tertia"): *„acțiunile reciproce a două puncte materiale sunt totdeauna egale și de sensuri opuse".*

Newton a aplicat mai întâi aceste legi la studiul mișcării Lunii în jurul Pământului, pentru a constata ulterior că ele se aplică și la mișcarea planetelor în jurul Soarelui. Și astfel, în opera sa *„Philosophiae naturalis principia mathematica"* (1686), Newton enunța legea generală a atracției dintre corpuri: *„două corpuri oarecare se atrag reciproc cu o forță direct proporțională cu produsul maselor și invers proporțională cu pătratul distanței ce le separă"*; acest principiu se exprimă prin relația:

$$F = -f\frac{m_1 \cdot m_2}{d^2} \qquad (17\text{-}1)$$

unde F este forța de atracție, m_1 și m_2 masele celor două corpuri, d distanța ce le separă și f – *constanta atracției universale.* Prin măsurători de precizie ale forțelor de atracție s-a stabilit valoarea numerică a constantei atracției universale în sistemul C.G.S.: $f = 6.664 \times 10^{-8}$; în formula (17-1), F este exprimat în dyne, m în grame și d în centimetri.

Această lege este cunoscută sub denumirea de *legea lui Newton, legea gravitații universale* sau *legea atracției universale.*

2 Legile lui Kepler

Legile lui Kepler* definesc mișcările planetelor în jurul Soarelui.

Legea I. Planetele descriu orbite eliptice, Soarele ocupând unul din focare.

Traiectoria descrisă de o planetă în mișcare în jurul Soarelui, denumită *orbită,* sub acțiunea atracției universale, are forma unei elipse; Soarele, considerat punctiform și imobil, ocupă unul din focarele acesteia (fig. 17-1). Mișcarea pe orbită are loc în sens direct.

---

* *Iohann Kepler* (1571–1630), astronom german; a fost asistentul și apoi succesorul lui *Tycho-Brahe* ca astronom la Curtea imperială din Praga. Cele trei legi privind mișcarea planetelor în jurul Soarelui prezentate în *„Astronomia nova"* și *„Harmonices mundi"* sunt deci anterioare formulării legii gravitației universale de către Newton.

Capătul axei mari a eclipsei situat în apropierea Soarelui se numeşte *periheliu*, iar cel mai depărtat – *afeliu*.

Legea II („legea ariilor"). Fiecare planetă se mişcă astfel pe orbita sa încât raza vectoare ce uneşte centrul acesteia cu al Soarelui mătură arii egale în timpuri egale.

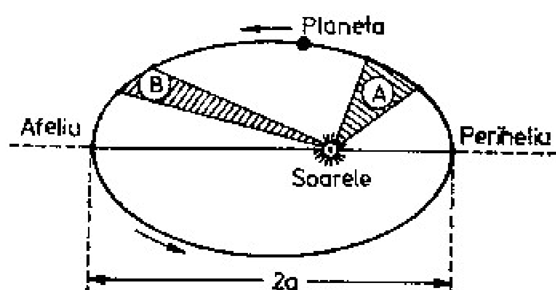


Fig. 17-1

Potrivit acestei legi, ariile *A* şi *B*, egale între ele, sunt măturate de raza vectoare în acelaşi interval de timp. Rezultă că o planetă nu se deplasează pe orbita sa cu viteză unghiulară constantă, ci cu o *viteză arială* constantă; viteza orbitală a planetei trece deci prin valoarea sa maximă la periheliu şi prin cea minimă la afeliu.

Legea III. Pătratele perioadelor de revoluţie ale planetelor în jurul Soarelui sunt proporţionale cu semiaxele mari ale orbitelor eliptice.

Notând semiaxele mari ale orbitelor planetelor cu a_1, a_2... şi perioadele de revoluţie ale acestora în jurul Soarelui cu T_1, T_2... se poate scrie:

$$\frac{a_1^3}{T_1^2} = \frac{a_2^3}{T_2^2} = \text{constant} \qquad (17\text{-}2)$$

Kepler a descoperit aceste legi în mod empiric, prelucrând observaţiile astronomice ale lui Tycho-Brahe, prin anumite combinaţii numerice.

Legile lui Kepler au fost confirmate ulterior şi pe bază de calcul, prin aplicarea legii atracţiei universale, constituind în acest mod o verificare strălucită a teoriei newtoniene.

Astfel, s-a verificat prin calcul cât şi prin observaţii că excentricitatea orbitelor planetelor este mică. Cea mai mare excentricitate o prezintă orbita planetei Pluton, egală cu 0.2486, urmată de cea a lui Mercur, de 0.2056; cea mai mică excentricitate o are orbita lui Venus, de 0.0068. Rezultă că orbitele planetelor sunt aproape circulare, iar viteza lor pe orbite aproape uniformă.

3 Perturbaţiile mişcărilor aştrilor sistemului solar

Mişcarea unei planete în jurul Soarelui sau a unui satelit faţă de planeta în jurul căreia gravitează ar fi determinabilă pe baza legilor lui Kepler, dacă s-ar acţiona reciproc numai două corpuri: astrul gravitant şi cel în jurul căruia gravitează.

Însă, potrivit legii lui Newton, toate corpurile cereşti se atrag reciproc, fapt care face ca mişcările reale ale aştrilor sistemului solar să prezinte anumite *perturbaţii*, abateri faţă de mişcările teoretice definite de legile lui Kepler.

Astfel apar *perturbații* ale mișcării Lunii în jurul Pământului și în general ale sateliților în jurul planetelor lor, cauzate de atracția Soarelui, ca urmare a masei sale enorme. De asemenea, apar oarecare perturbații în mișcarea planetelor în jurul Soarelui, sub acțiunea atracției sateliților lor.

Dată fiind distanța foarte mare care separă stelele de aștrii sistemului solar, în ciuda masei considerabile a acestora, influența lor asupra mișcării planetelor rămâne insensibilă.

Perturbațiile sunt studiate de mecanica cerească.

§3 Mișcarea anuală aparentă a Soarelui

1 Particularități ale mișcării aparente a Soarelui

Considerăm un observator terestru plasat într-un loc de latitudine nordică φ; dacă acesta determină pozițiile succesive pe sfera cerească ale unei stele și ale Soarelui în decurs de un an, el constată următoarele:

– steaua descrie zilnic un paralel de declinație, care se menține același tot timpul anului, durata mișcării diurne fiind constantă;

– Soarele descrie în timp de un an un gen de spirală, simetrică în raport cu ecuatorul ceresc, limitată de paralelele de declinație +23°27′ și –23°27′, a cărei axă este axa lumii (fig. 17-2). În fiecare zi Soarele descrie o spiră a acestei spirale, într-un timp ceva mai mare decât cel necesar stelei ca să-și parcurgă paralelul de declinație. Spirele zilnice parcurse sunt foarte apropiate de planul paralelului declinației medii a Soarelui din ziua respectivă. Depărtarea spirelor de paralelul de declinație medie este funcție deci de variația zilnică a declinației Soarelui.

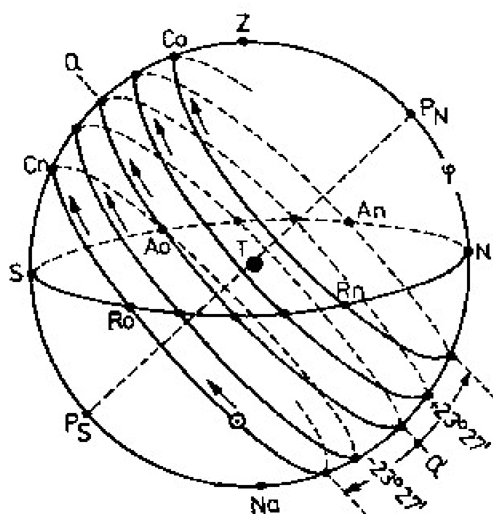


Fig. 17-2

Pentru observatorul de latitudine nordică φ, particularitățile mișcării diurne a Soarelui în comparație cu cea a unei stele se manifestă astfel:

– Soarele răsare în puncte diferite de pe orizont între R_o și R_n, în cadranul NE pe timpul verii în cadranul SE pe timpul iernii; de asemenea, el apune în puncte diferite,

cuprinse între A_o şi A_n, în cadranul NW pe timpul verii şi în cadranul SW pe timpul iernii (fig. 17-2).

Punctele de răsărit şi apus ale stelei se menţin aceleaşi (fig. 16-3);

– Soarele culminează în puncte diferite pe meridianul locului cuprinse între C_o şi C_n, fapt cae face ca înălţimea meridiană să varieze între o valoare maximă la solstiţiul de vară şi una minimă la solstiţiul de iarnă.

Înălţimea meridiană a stelei se menţine aceeaşi, indicând faptul că steaua culminează în acelaşi punct de pe meridianul observatorului;

– arcul diurn şi cel nocturn al Soarelui variază continuu. La solstiţiul de vară, arcul diurn este maxim (noaptea cea mai scurtă); la echinocţii cele două arce sunt egale (ziua cea mai scurtă din an) şi cel nocturn, maxim (noaptea cea mai lungă).

Arcul diurn şi cel nocturn ale stelei se menţin aceleaşi;

– intervalul de timp necesar Soarelui ca să lumineze de două ori consecutiv la meridianul locului este mai mare decât cel al stelei cu aproape 4 minute, fapt care indică o mişcare aparentă proprie a Soarelui în sens direct (opus sensului mişcării diurne), de aproape 1° pe zi.

Aceste diferenţe dintre mişcarea diurnă a Soarelui şi cea a unei stele sunt consecinţa faptului că steaua are o poziţie fixă pe sfera cerească, pe când Soarele are o mişcare aparentă proprie în sens direct; steaua participă doar la mişcarea diurnă a sferei cereşti, pe când mişcarea aparentă a Soarelui, descrisă mai sus, este rezultanta a două mişcări:

– mişcarea diurnă a sferei cereşti, generată de mişcarea de rotaţie zilnică a Pământului în jurul axei polilor;

– mişcarea anuală aparentă a Soarelui, cauzată de mişcarea de revoluţie a Pământului în jurul acestuia în timp de un an.

2 Mişcarea anuală aparentă a Soarelui. Ecliptica

A *Mişcarea de revoluţie a Pământului – cauză a mişcării anuale aparente a Soarelui*

Pământul, a treia planetă a sistemului în ordinea depărtării de Soare, execută o mişcare de revoluţie în jurul acestuia în conformitate cu legile lui Kepler.

Axa polilor tereştri este înclinată faţă de planul orbitei de revoluţie de un unghi egal cu 66°33′; de aici rezultă că planul orbitei de revoluţie a Pământului este înclinat faţă de planul ecuatorului cu un unghi $\omega = 90° - 66°33' = 23°27'$.

În figura 17-3 *a* considerăm orbita eliptică a Pământului. Axa mare *PA* a orbitei se numeşte *linia apsidiilor;* între 3–5 ianuarie ale fiecărui an, Pământul se află la *periheliu* (*P*), distanţa Pământ–Soare fiind minimă, iar între 3–5 iulie – la afeliu (*A*), aceeaşi distanţă devine maximă.

Semiaxa mare $= \frac{PA}{2}$ a orbitei Pământului este egală cu 23440 raze ecuatoriale terestre, ceea ce reprezintă aproximativ 150 milioane kilometri.

Excentricitatea orbitei terestre în jurul Soarelui este 0.0167.

Viteza pe orbită a Pământului variază între 29.27 km/s la afeliu şi 30.27 km/s la periheliu, potrivit legii a II-a a lui Kepler.

Așa cum se arată la capitolul 18, perioada de revoluție a Pământului funcție de semiaxa mare a orbitei eliptice, potrivit legii a III-a a lui Kepler (formula 17-2), are valoarea $T = 365^d06^h09^m09^s{\cdot}5$.

Mișcarea unghiulară medie a Pământului în sens direct este aproape de 1° pe zi, fiind egală cu 0°59′08″.

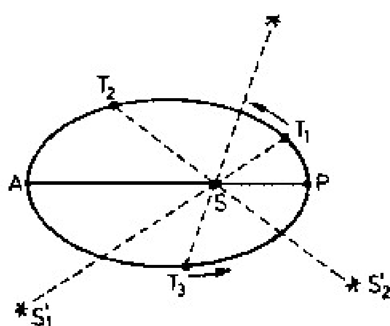


Fig. 17-3 a

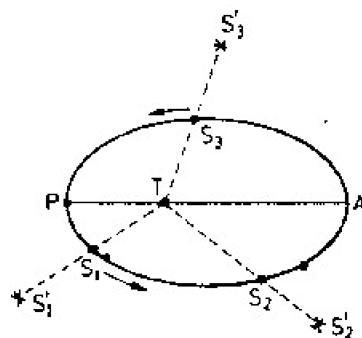


Fig. 17-3 b

Mișcarea de revoluție a Pământului în jurul Soarelui este definită de legile lui Kepler. Potrivit legii I, traiectoria acestei mișcări este o elipsă, Soarele ocupând unul din focare; sensul mișcării este direct (de la vest la est). Astfel, când Pământul se află în poziția T_1 pe orbita sa, observatorul vede Soarele proiectat pe sfera cerească în punctul S_1'; în pozițiile succesive T_2 și T_3, Soarele se vede proiectat în punctele S_2' și respectiv S_3' ale sferei cerești.

Pentru observatorul terestru însă nimic nu se schimbă în aspectul cerului înstelat, dacă în locul orbitei reale T_1, T_2, T_3,... a Pământului în jurul Soarelui (fig. 17-3 *a*) se consideră traiectoria aparentă S_1, S_2, S_3, ... a Soarelui în jurul Pământului, presupus fix în T (fig. 17-3 *b*). În această ipoteză, se pare că Soarele descrie o elipsă egală cu orbita Pământului, a cărei axă mare PA este inversată; pozițiile succesive S_1, S_2, S_3, ... ale Soarelui, ca urmare a mișcării sale aparente în sens direct, sunt văzute de observatorul terestru – proiectate în direcțiile acelorași puncte $S_1', S_2', S_3', \ldots$

Aspectul sferei cerești precum și elementele de observație legate de Soare rămânând aceleași, se poate admite că mișcarea anuală aparentă a Soarelui în sens direct se conformează legilor lui Kepler, ca și mișcarea de revoluție a Pământului care o generează.

B *Ecliptica*

Să presupunem acum observatorul terestru plasat în unul din focarele traiectoriei aparente a Soarelui, precum și în centrul sferei cerești (fig. 17-4). Axa lunii este înclinată față de planul acestei traiectorii, care se confundă cu planul orbitei terestre, cu 66°33′.

Considerăm sfera cerească imobilă, fără a participa la mișcarea diurnă și urmărim doar Soarele în mișcarea sa anuală aparentă în sens direct. Pozițiile succesive S_1, S_2, S_3, S_4, ... ale Soarelui pe traiectoria sa aparentă în timp de un an se

proiectează pe sfera cerească în punctele S_1, S_2, S_3, S_4, ... care determină un cerc mare numit *eliptica.**

Ecliptica este deci cercul mare descris de Soare pe sfera cerească în mişcarea sa anuală aparentă, cauzată de mişcarea de revoluţie a Pământului. Mişcarea anuală aparentă a Soarelui este definită de următoarele legi:

– ecliptica este înclinată faţă de ecuatorul terestru de un unghi $\omega = 90° - 66°33' = 23°27'$;

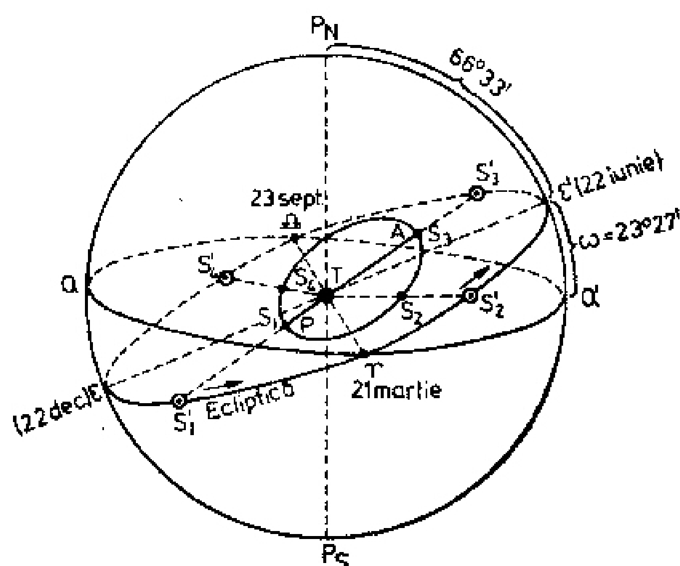


Fig.17-4

– mişcarea aparentă a Soarelui are loc în sens direct, adică în sens invers mişcării diurne;

– mişcarea este neuniformă, conformându-se legii a II-a a lui Kepler;

– perioada unei revoluţii complete este de un an.

Punctele de intersecţie ale eclipticii cu ecuatorul ceresc se numesc *noduri*. Nodul în care Soarele din emisfera sudică în cea nordică se numeşte *nod ascendent* sau *punct vernal* şi se notează γ (simbolul constelaţiei *Berbecul); punctul vernal constituie originea de contare a ascensiunii drepte a aştrilor şi a unghiului* τ.

Nodul opus prin care Soarele trece din emisfera nordică în cea sudică se numeşte *nod descendent* sau *punct tomnal;* se notează cu Ω (simbolul constelaţiei *Balanţa).*

Soarele trece prin punctul vernal la 21 martie a fiecărui an, iar prin punctul tomnal la 23 septembrie. În momentul trecerii Soarelui prin aceste puncte, declinaţia lui este zero, deci arcul este egal cu cel nocturn; rezultă că pentru toţi observatorii de pe Pământ ziua este egală cu noaptea, de aceea aceste noduri se mai numesc şi *echinocţii:*

– punctul vernal este numit *echinocţiu de primăvară,* când ascensiunea Soarelui $\alpha = 0°$, iar declinaţia $\delta = 0°$;

– punctul tomnal, numit *echinocţiu de toamnă,* când Soarele are $\alpha = 180°$ şi $\delta = 0°$.

* A fost numit *ecliptică,* deoarece ca să poată avea loc o eclipsă de Lună sau de Soare, Luna trebuie să se afle în planul acestui cerc mare.

Linia Ω care leagă cele două noduri se numește linia *echinocțiilor.*

Linia $\varepsilon\varepsilon'$ normală pe linia echinocțiilor în centrul sferei cerești se numește *linia solstițiilor;* punctele în care linia solstițiilor înțeapă sfera cerească se numesc *solstiții:*

– punctul ε', din emisfera nordică, *solstițiu de vară;*

– punctul ε', din emisfera sudică, *solstițiu de iarnă.*

Soarele trece prin solstițiu de vară la 22 iunie a fiecărui an, când declinația atinge valoarea maximă pozitivă $\delta = +23°27'$, iar ascensiunea dreaptă $\alpha = 90°$. Soarele trece prin solstițiu de iarnă la 22 decembrie, când declinația atinge valoarea maximă negativă $\delta = -23°27'$, iar ascensiunea dreaptă $\alpha = 270°$.

Rezultă că, în mișcarea aparentă a Soarelui pe ecliptică, coordonatele sale ecuatoriale variază astfel:

– ascensiunea dreaptă urmărește Soarele în mișcarea sa aparentă anuală, luând toate valorile de la 0° la 360° cu originea 0° la echinocțiul de primăvară. Variația ascensiunii drepte este neuniformă;

– declinația Soarelui ia valori cuprinse între 0°, când Soarele se află la echinocții și ±23°27', când astrul zilei se află la solstiții. Așa cum se vede la punctul 3 de mai jos, acest fapt determină variația zilelor și a nopților într-un anumit loc.

Axa perpendiculară pe planul eclipticii ce trece prin centrul sferei cerești se numește *axa eclipticii* (P_BP_A), care este înclinată față de axa lumii de unghiul $\alpha = 23°27'$ (fig.17-5); axa eclipticii înțeapă sfera cerească în două puncte: *polul boreal* P_B, aflat în emisfera nordică și *polul austral* P_A, situat în emisfera sudică.

Planul eclipticii împarte sfera cerească în două emisfere: *emisfera boreală,* ce conține polul boreal și *emisfera australă,* care conține polul austral.

În prezentarea noțiunilor de mai sus, sfera cerească a fost considerată imobilă și am urmărit pe ea doar mișcarea anuală aparentă a Soarelui. Să revenim la situația reală, când sfera cerească este animată de mișcarea sa diurnă.

Paralel de declinația $= +23°27'$ descris de solstițiul de vară în mișcarea diurnă pe sfera cerească se numește *tropicul Racului;* mișcarea diurnă a Soarelui la solstițiul de vară se poate considera ca având loc de-a lungul acestui paralel (variația declinației Soarelui fiind minimă la solstiții).

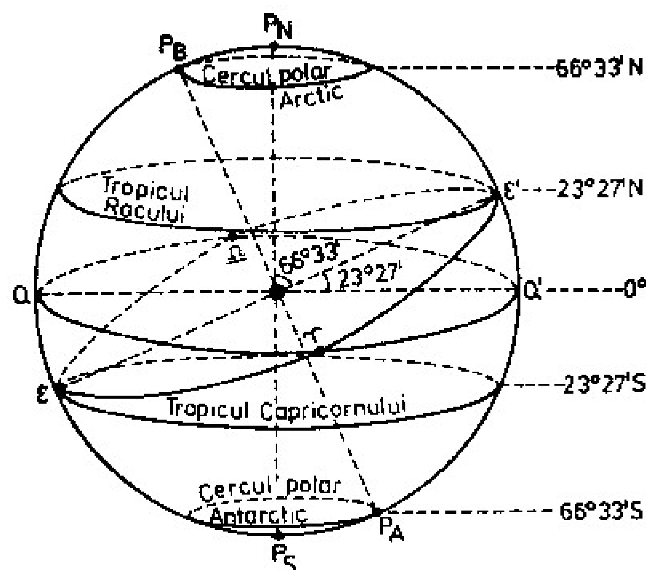


Fig. 17-5

Paralelul de declinaţie δ = -23°27′ descris de solstiţiul de iarnă în mişcarea diurnă se numeşte *tropicul Capricornului;* la solstiţiul de iarnă se poate considera că mişcarea diurnă a Soarelui se produce de-a lungul acestui paralel.

Considerând acum combinarea mişcării diurne a Soarelui cu mişcarea sa anuală aparentă, mişcarea aparentă rezultantă vazută de observatorul terestru este aşa cum s-a anticipat la §1 de mai sus: *în decurs de un an, Soarele descrie zilnic un gen de spiră a unei spirale, simetrice în raport cu ecuatorul, delimitată în emisfera nordică de planul tropicul Racului, iar în emisfera sudică de tropicul Capricornului.* Depărtarea acestor spire diurne descrise de soare, una de alta, este funcţie de variaţia zilnică a declinaţiei*, care este maximă la echinocţii şi minimă la solstiţii; ele se menţin în imediata apropiere a paralelului de declinaţie medie a Soarelui din ziua respectivă.

Punctul vernal şi cel tomnal execută mişcarea diurnă de-a lungul ecuatorului ceresc; când Soarele se află la echinocţii, el efectuează mişcarea diurnă în imediata apropiere a acestuia.

Paralelul de declinaţie descris de polul boreal se numeşte *cerc polar arctic;* el are declinaţia +66°33′. Paralelul de declinaţie descris de polul austral se numeşte *cerc polar antarctic,* de declinaţie –66°33′. Paralelul de declinaţie descris de polul austral se numeşte *cerc polar antarctic,* de declinaţie –66°33′.

Proiecţiile cercurilor polare şi ale tropicelor de pe sfera cerească definite mai sus, pe sfera terestră, determină paralelele de pe suprafaţa Pământului ce poartă acelaşi nume: *cercul polar arctic* (φ) 66°33′N), *cercul polar antarctic* (φ) 66°33′S), *tropicul Racului* (φ = 23°27′N) şi *tropicul Capricornului*(φ 23°27′S); aceste paralele de latitudine sunt folosite pentru delimitarea *zonelor climatice* pe suprafaţa planetei noastre.

3 Variaţia zilelor şi a nopţilor

Succesiunea zilelor şi a nopţilor determinată de mişcarea diurnă a Soarelui prezintă un interes deosebit în viaţa cotidiană a omului; acest fenomen prezintă de asemenea importanţă în navigaţie, atât în rezolvarea problemelor de determinare a poziţiei, cât şi a unor probleme ajutătoare de conducere a navei.

Avem ziuă atâta timp cât Soarele se află pe arcul său diurn, între momentul răsăritului şi al apusului; este noapte, pe timpul mişcării de-a lungul arcului nocturn. Aşa cum am văzut la capitolul 16, raportul dintre arcul diurn şi cel nocturn al unui astru este funcţie de latitudinea observatorului şi declinaţia astrului.

Dacă declinaţia Soarelui ar fi constantă, într-un loc de latitudine oarecare φ, durata zilelor şi a nopţilor s-ar menţine aceeaşi. Datorită variaţiei continue a declinaţiei Soarelui între limitele de ±23°27′, ca urmare a înclinării eclipticii faţă de ecuatorul ceresc, durata zilelor şi a nopţilor este variabilă în locurile de observaţie de la toate latitudinile, cu excepţia celor de pe ecuatorul terestru.

---

* După indicaţiile *efemeridei nautice 1973,* variaţia zilnică a declinaţiei Soarelui a fost: +22′.7 la 21 martie, zero la 22 iunie, –22′.4 la 23 sept. şi +0′.3 la 22 decembrie.

A *Observatorul la o latitudine oarecare în zona temperată*

La latitudinile cuprinse între tropice ($\varphi = \pm 23°27'$) și cercurile polare ($\varphi = \pm 66°33'$), *Soarele este un astru cu răsărit și apus,* deoarece declinația sa, în valoare absolută (cuprinsă între 0° și 23°27'), se menține mai mică decât colatitudinea în limitele date: $l = 90° - 23°27' = 66°33'$, la tropice și $l = 90° - 66°33' = 23°27'$, pe cercurile polare.

Astfel, de exemplu, pentru un observator la latitudinea $\varphi = 50°N$, Soarele este un astru cu răsărit și apus deoarece $|\delta| < l$ (fig. 17-6); variația zilelor și a nopților este următoarea:

– la 21 martie, ziua este egală cu noaptea ($\delta = 0°$);

– între 21 martie și 22 iunie, ziua crește și noaptea scade; declinația Soarelui crește, de același semn cu latitudinea observatorului;

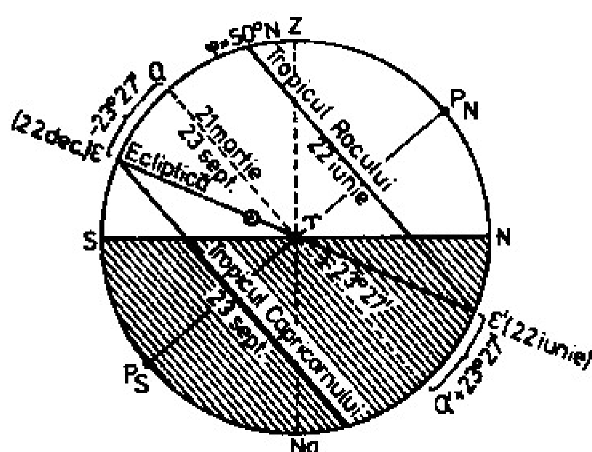


Fig. 17-6

– la 22 iunie, ziua este cea mai lungă și noaptea cea mai scurtă din an; declinația maximă (+23°27') și de același semn cu latitudinea;

– între 22 iunie și 23 septembrie, ziua scade și noaptea crește, ziua menținându-se mai mare decât noaptea;

– la 23 septembrie, ziua egală cu noaptea ($\delta = 0°$);

– între 23 septembrie și 22 decembrie, ziua scade și noaptea crește, noaptea fiind mai lungă decât ziua; δ crește în valoare absolută, de semn contrar cu φ;

– la 22 decembrie, noaptea cea mai lungă și ziua cea mai scurtă din an; declinația maximă în valoare absolută ($\delta = -23°27'$) și de semn contrar cu latitudinea;

– între 22 decembrie și 21 martie, ziua crește și noaptea scade, până la 21 martie – când ajung din nou de aceeași durată.

Generalizând pentru zonele temperate ale ambelor emisfere terestre, nordică și sudică, variația zilelor este următoarea:

– la echinocțiul de primăvară și cel de toamnă declinația fiind zero, ziua este egală cu noaptea;

– ziua cea mai lungă are loc când declinația Soarelui este maximă în valoare absolută și de același semn cu latitudinea observatorului: la solstițiul de vară, în emisfera nordică și la solstițiul de iarnă, în cea sudică;

– ziua cea mai scurtă se produce când declinația Soarelui este maximă în valoare absolută și de semn contrar cu latitudinea observatorului: la solstițiul de iarnă, în emisfera nordică și la solstițiul de vară, în cea sudică.

B *Observatorul la o latitudine cuprinsă între tropice* $|\varphi| \leq 23°27'$

Când *observatorul se află pe ecuatorul terestru* $\varphi = 0°$ (fig. 17-7), ziua se menține egală cu noaptea tot timpul anului, indiferent de valoarea declinației, deoarece paralelele de declinație ale Soarelui sunt perpendiculare pe planul orizontului.

La echinocții, când $\varphi = 0°$, Soarele culminează la zenit, înălțimea meridiană maximă, $H = 90°$. La solstiții, înălțimea meridiană a Soarelui este minimă, $H = 66°33'$; Soarele culminează în meridianul nordic la solstițiul de vară (ε) și în cel sudic la solstițiul de iarnă (ε″).

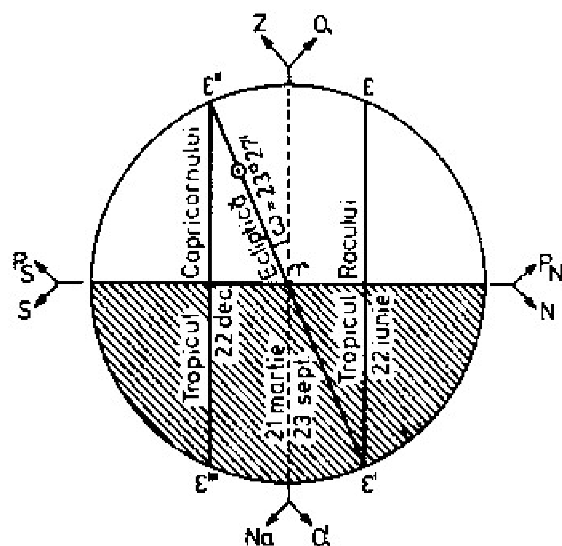


Fig. 17-7

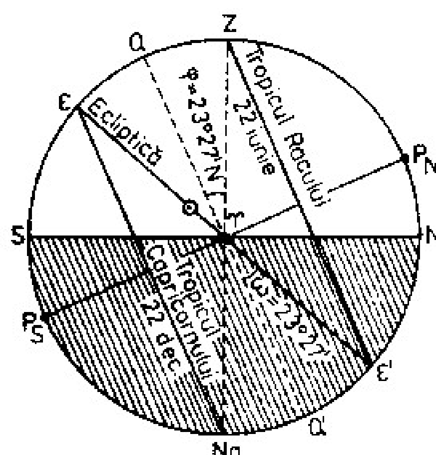


Fig. 17-8

Dacă *observatorul se află la latitudinea* $\varphi = +23°27'$, *pe tropicul Racului* (fig. 17-8), Soarele culminează la zenit la solstițiul de vară, când ziua este cea mai lungă și noaptea cea mai scurtă.

În *locurile situate pe tropicul Capricornului* ($\varphi = -23°27'$), Soarele culminează la zenit la solstițiul de iarnă.

Într-un loc situat la o latitudine cuprinsă între $\pm 23°27'$, Soarele culminează la zenit de două ori pe an, când declinația sa este egală cu latitudinea observatorului și de același semn.

Inegalitatea zilelor și nopților se manifestă tot mai evident pe măsura depărtării observatorului de ecuatorul terestru.

C *Observatorul în zona polară*

Considerăm *observatorul pe cercul polar arctic* $\varphi = +66°33'$ (fig. 17-9). Soarele are culminația inferioară pe orizont (în N) la solstițiul de vară (la miezul nopții), când declinația Soarelui (+23°27′) este egală cu colatitudinea și de același semn cu latitudinea. La 22 iunie înălțimea meridiană atinge valoarea maximă din tot timpul anului $H = 2\,\omega = 46°54'$ (Soarele în *C*).

Soarele are culminația superioară pe orizont (în S) la solstițiul de iarnă. În restul anului, Soarele este un astru cu răsărit și apus; zilele și nopțile variază ca pentru un observator de latitudine a zonei temperate.

Dacă *observatorul se află pe cercul polar antarctic* ($\varphi = -66°33'$), Soarele are culminația inferioară pe orizont la solstițiul de iarnă și culminația superioară pe orizont la solstițiul de vară.

Pentru *observatorul aflat la polii tereștri* $\varphi = \pm 90°$, Soarele este circumpolar vizibil când declinația este de același semn cu latitudinea polului, timp de 6 luni și circumpolar invizibil, când declinația este de semn contrar.

De exemplu, observatorul situat la polul nord (fig. 17-18) are Soarele circumpolar vizibil între 21 martie și 23 septembrie, când $\delta > 0°$; Soarele devine circumpolar invizibile pe timpul iernii, când declinația este negativă.

Soarele trece prin orizont de două ori pe an, când răsare sau apune. La polul nord, Soarele răsare la echinocțiul de primăvară și apune la cel de toamnă; la polul sud, fenomenele se petrec invers: răsare la echinocțiul de toamnă și apune la cel de primăvară.

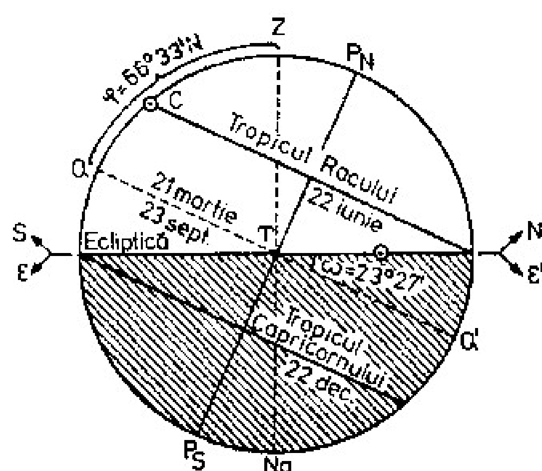


Fig. 17-9

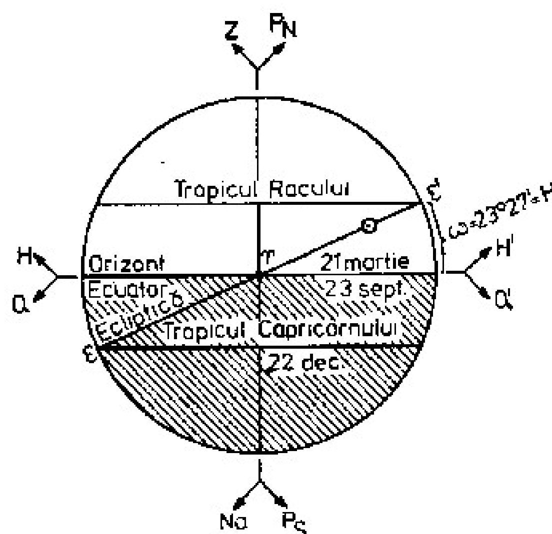


Fig 17-10

Înălțimea Soarelui atinge valoarea maximă pozitivă 23°27′ la solstițiul de vară, în polul nord și la cel de iarnă, în polul sud.

Ziua polară, ca și *noaptea polară* au durata teoretică de câte 6 luni; în realitate, sub efectul *crepusculului* (vezi punctul 4 de mai jos), durata zilei polare este de aproximativ 8 luni, iar a nopții polare de 4 luni.

La celelalte latitudini ale zonei polare, Soarele este *circumpolar* atâta timp cât declinația sa are o valoare cuprinsă între $l = 90° - \varphi$ și 23°27′). Soarele este *circumpolar vizibil* când δ și φ sunt de același semn; în această perioadă are loc *ziua polară*. Soarele este *circumpolar invizibil* (are loc *noaptea polară),* când δ și φ sunt de semne contrarii.

De exemplu, într-un loc de latitudine $\varphi = +80°$, Soarele este circumpolar vizibil atâta timp cât declinația ia valori cuprinse între $l = 90° - 80° = +10°$ și +23°27′); Soarele este circumpolar invizibil când declinația este cuprinsă între −10° și −23°27′). Pentru observatorii situați la această latitudine, *ziua polară* durează din aprilie până în august, iar *noaptea polară* din octombrie până în februarie.

4 Crepusculul

Într-un punct oarecare de pe suprafața Pământului, întunericul nopții nu începe odată cu apusul Soarelui, iar lumina zilei nu apare simultan cu răsăritul. După apusul Soarelui, lumina zilei cedează treptat locul întunericului, până când apare *noaptea*

plină; perioada aceasta de tranziţie se numeşte *crepuscul de seară* sau *amurg*. Dimineaţa fenomenul se petrece invers, lumina zilei alungă treptat întunericul nopţii, intervalul acesta de tranziţie fiind denumit *crepuscul de dimineaţă* sau *zori*.

Prin urmare, crepusculul este fenomenul care prelungeşte durata zilei şi o reduce în mod corespunzător pe cea a nopţii. Fenomenul este cauzat de atmosfera terestră. Considerăm un observator pe suprafaţa Pământului în *A* şi Soarele sub orizont, în *S* (fig. 17-11); Soarele luminează straturile superioare ale atmosferei de deasupra observatorului, între limitele *B* şi *C*, lumină care este difuzată apoi spre suprafaţa terestră.

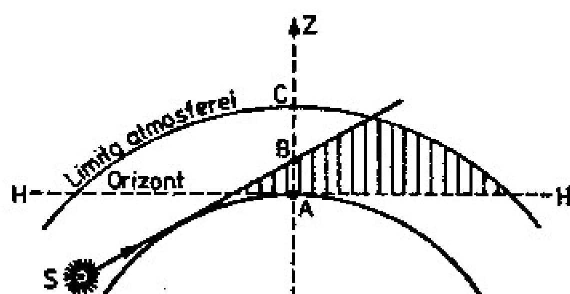


Fig. 17-11

Pentru definirea crepusculului este necesar mai întâi să precizăm noţiunile de *răsărit* şi *apus adevărat*, precum şi de *răsărit* şi *apus vizibil:*

– *Soarele se află la răsăritul sau apusul adevărat*, când centrul său trece prin orizontul adevărat al observatorului;

– *Soarele se află la răsăritul sau apusul vizibil*, când bordul său superior tangentează orizontul vizibil; aşa cum se arată la capitolul 24, § 1, pentru un observator al cărui ochi se află la înălţimea de 5 m, când bordul superior al Soarelui este pe linia orizontului, centrul acestuia are înălţimea $h = -0°55'$.

Perioada luminii crepusculare a fost divizată în trei crepusculi: *civil, nautic şi astronomic.*

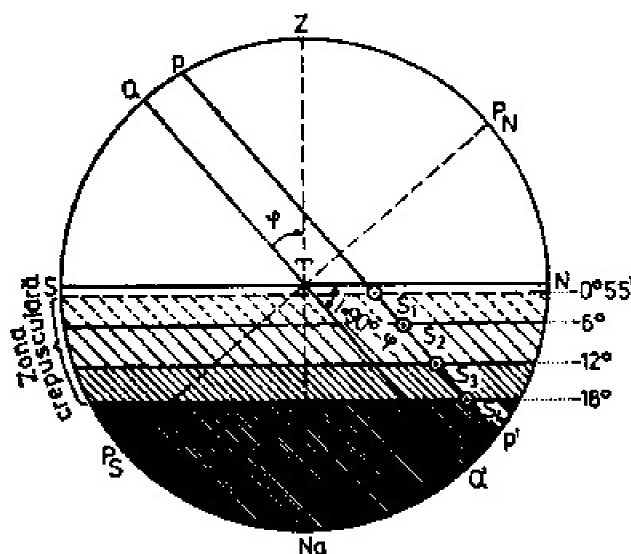


Fig. 17-12

Crepusculul civil de seară începe odată cu apusul vizibil al Soarelui (poziţia S_1 – fig. 17-12) şi se termină când centrul său ajunge la înălţimea $h = -6°$ (poziţia S_2);

crepusculul civil de dimineață începe când centrul Soarelui se află la 6° sub orizont și se termină odată cu răsăritul său vizibil.

La sfârșitul crepusculului civil de seară apar cele 5 planete vizibile, 22 stele de mărimea I, iar orizontul vizibil se distinge încă cu ochiul liber; la *începutul crepusculului de dimineață* acești aștri continuă să se mai vadă, iar orizontul începe să se distingă cu ochiul liber.

Crepusculul nautic de seară își are sfârșitul când centrul Soarelui ajunge la 12° sub orizont (poziția S_3), moment în care apar stelele de mărimea II, iar orizontul vizibil se mai distinge prin luneta sextantului. *La începutul crepusculului de dimineață*, centrul Soarelui ajunge la înălțimea $h = -12°$, stelele de mărimea II continuă să se mai vadă, iar orizontul vizibil începe să se distingă prin luneta sextantului.

Crepusculul atronomic de seară se termină când centrul Soarelui ajunge la înălțimea de 18° sub orizont (poziția S_4), moment în care apar și stelele de mărimea VI (stelele cele mai puțin luminoase ce se pot distinge cu ochiul liber), iar orizontul mării nu se mai poate vedea.

La începutul crepusculului astronomic de dimineață, centrul Soarelui ajunge la înălțimea de 18° sub orizont, când se mai văd încă stelele de mărimea VI, iar orizontul vizibil nu se mai poate încă distinge.

Așa cum se arată la capitolul 20, pentru observarea înălțimii aștrilor cu sextantul deasupra orizontului vizibil în scopul determinării punctului navei, prezintă interes intervalul civil și al celui nautic. Aștrii luminoși, cum sunt planetele și stelele cele mai luminoase, pot fi observați cu ochiul liber când centrul soarelui se află la 3° sub orizont, deci la mijlocul intervalului crepusculului civil.

În timpul crepusculului astronomic nu se mai pot face observații la aștri, deoarece orizontul mării nu se mai vede.

Durata crepusculului civil, nautic și astronomic de seară depinde de timpul necesar Soarelui ca să ajungă la 6°, 12°, și respectiv la 18° sub orizont, din momentul apusului vizibil; invers pentru crepusculul de dimineață, fiind timpul necesar Soarelui ca să se ridice de la aceste înălțimi negative, până la poziția răsăritului vizibil. Durata crepusculului este funcție de unghiul de înclinare a paralelului de înclinație al Soarelui față de orizont, care este egal cu colatitudinea observatorului $l = 90° - \varphi$; durata crepusculului este cu atât mai mică, cu cât colatitudinea este mai mare și invers.

Rezultă că durata crepusculului este minimă la ecuator (vezi fig. 17-7) și crește cu latitudinea observatorului, devenind maximă la poli (vezi fig. 17-10). Astfel, durata crepusculului astronomic variază între 1^h20^m la ecuatorul terestru (unde înclinarea paralelului de declinație al Soarelui față de orizont este 90°) și 39 de zile la polii tereștri.

Durata crepusculului, îndeosebi a celui civil și nautic, prezintă importanță deosebită în practica navigației astronomice, deoarece observațiile la aștri pentru determinarea poziției navei se fac în acest interval de timp.

5 Precesia și nutația

Observațiile îndelungate efectuate asupra polilor cerești au condus la concluzia că aceștia nu au o poziție fixă pe sfera cerească, ci execută o mișcare lentă printre stele în jurul axei eclipticii, în sens retrograd, care este rezultanta a două mișcări: *precesia* și *nutația*.

Polii cerești sunt proiecțiile polilor tereștri pe sfera cerească. Pământul, așa cum știm, are forma apropiată de cea a unui elipsoid de revoluție, iar planul ecuatorului terestru este înclinat față de planul eclipticii cu 23°27′. Mecanica cerească explică mișcarea de precesie și nutație ca fiind rezultatul acțiunilor de atracție însumate ale Soarelui și Lunii asupra proeminenței ecuatoriale terestre, conform legii lui Newton, care tinde să aducă planul ecuatorului într-un plan apropiat de cel al eclipticii,* ce conține rezultanta forțelor de atracție. Mișcarea de precesie și nutație ia naștere ca urmare a rezistenței opuse de Pământ acestei acțiuni; în acest caz, globul terestru se comportă ca un giroscop cu trei grade de libertate (vezi cap. 4, § 2, pct. 2), iar axa polilor tereștri descrie un con de precesie în jurul axei eclipticii.

A *Mișcarea de precesie*

Mișcarea de precesie face ca axa polilor cerești să descrie un con de revoluție în jurul axei ecliptice, astfel (fig. 17-13):

– sensul mișcării este retrograd;

– durata unei revoluții complete este de aproximativ 26 000 ani;

– polii cerești descriu *cercuri de precesie,* cu centrul în polii eclipticii, de o rază sferică $\omega = 23°27'$.

Desigur, ecuatorul ceresc împreună cu toate elementele sferei cerești legate de axa lumii participă la această mișcare. Ca urmare, punctul vernal descrie o mișcare lentă în sens retrograd pe ecliptică în timp de 26 000 ani, cunoscută sub denumirea de *precesia echinocțiilor* sau *retrogradarea punctului vernal;* astfel, dacă după un anumit interval de timp polii cerești se deplasează din pozițiile lor inițiale în

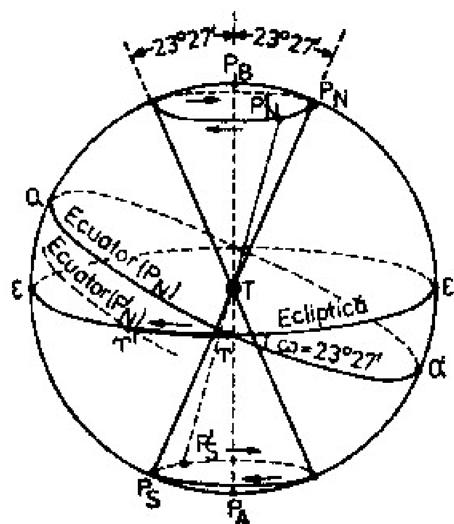


Fig. 17-13

P'_N și respectiv P'_S, punctul vernal retrogradează din γ în γ'. În decurs de un an, punctul vernal execută o mișcare în sens retrograd pe ecliptică egală cu:

$$\frac{360° \times 60' \times 60''}{26\,000} = 50''.3$$

* La § 4 se arată că planul orbitei Lunii este mai apropiat de cel al eclipticii, având o înclinare de numai 5°09′.

B *Mişcarea de nutaţie*

Cercurile de precesie ale polilor cereşti definite mai sus reprezintă o succesiune de poziţii medii ale axei lumii; în realitate, mişcării de precesie i se însumează *nutaţia*, care este o mişcare de revoluţie a axei polilor cereşti în jurul acestor poziţii

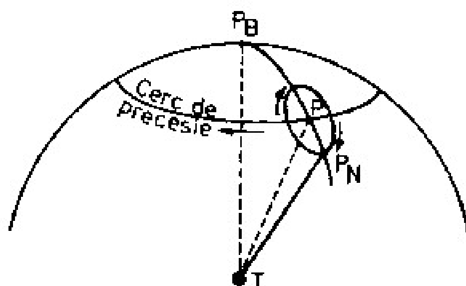


Fig. 17-14

medii. Astfel, să presupunem mişcarea de precesie anulată la un moment dat şi axa lumii într-o poziţie medie P pe cercul de precesie (fig. 17-14); axa polilor cereşti execută mişcarea de nutaţie în jurul acestei poziţii, astfel:

– polul nord ceresc P_N descrie o elipsă având centrul în P, cu axa mare de $18''.4$, orientată pe direcţia polului boreal P_B, iar axa mică de $13''.7$ – pe direcţia tangentei la cercul de precesie;

– mişcarea de nutaţie are loc în sens retrograd;

– perioada de nutaţie este de 18 ani şi 7 luni.

Mecanica cerească arată că nutriţia este cauzată în principal de acţiunea Lunii asupra proeminenţelor ecuatoriale terestre, care tinde să suprapună planul ecuatorului cu cel al orbitei lunare.

Mişcarea de nutaţie a axei polilor cereşti antrenează deopotrivă toate elementele sferei legate de această axă; consecinţele ei sunt următoarele:

– variaţii periodice ale înclinării ω a ecutoarului ceresc faţă de ecliptică în timp de 18 ani şi 7 luni, cu amplitudini maxime de $\frac{18''\cdot 4}{2} = 9''.2$, în jurul unui plan mediu ecuatorial;

– variaţii periodice lente ale poziţiei punctului vernal γ pe ecliptică, cu aceeaşi perioadă de 18 ani şi 7 luni şi amplitudini maxime de $\frac{13''\cdot 7}{2} = 6''.85$. Aceste variaţii influenţează retrogradarea punctului vernal cauzată de mişcarea de precesie, făcând ca $50''.3$ să reprezinte doar o valoare medie a retrogradării anuale.

C *Combinarea mişcării de precesie şi nutaţie*

În consideraţiile făcute mai sus, am presupus mişcarea de precesie anulată pentru o perioadă de 18 ani şi 7 luni, în scopul de a ilustra legile mişcării de nutaţie.

Rezultanta mişcării de precesie şi a celei de nutaţie face ca axa polilor cereşti să descrie un con de revoluţie ondulat (fig. 17-15). Polii cereşti descriu pe sfera cerească o curbă sinusoidală continuă, în sens retrograd, care se înscrie între două

cercuri paralele ll' şi mm', simetrice în raport cu cercul de precesie, având raza sferică 23°27′ ±9″.2 şi centrul în polul eclipticii. Perioada mişcării rezultante se menţine de aproximativ 26 000 de ani.

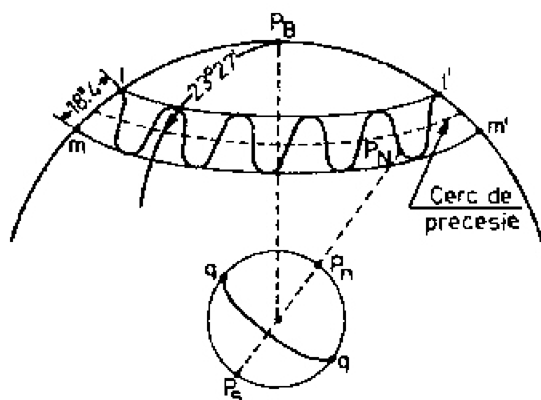


Fig. 17-15

D *Consecinţele mişcării de precesie*

În cele ce urmează, vom neglija efectele mişcării de nutaţie, dat fiind abaterile neînsemnate pe care le cauzează şi vom analiza doar consecinţele astronomice ale mişcării de precesie.

a – Polii cereşti descriu cercuri de precesie de o rază sferică ω = 23°27′ având centrul în polii ecliptici, în timp de 26 000 ani, în sens retrograd. În prezent, polul nord ceresc se află în dreptul stelei α Ursae Minoris, denumită din această cauză *steaua Polară;* datorită mişcării de precesie, polul nord ceresc descrie o mişcare lentă în sens retrograd printre stele, urmând ca după vreo 9 000 ani să se afle în apropierea stelei Deneb (α Cygni), iar după 14 000 ani în dreptul stelei Vega (α Lyrae).

b – Planul ecuatorului se mişcă odată cu axa polilor cereşti, menţinându-se perpendicular pe aceasta. Privind coordonatele ecuatoriale ale aştrilor, această mişcare are două urmări:

– o variaţie a declinaţiei aştrilor, a cărei origine de măsurare este ecuatorul ceresc;

– creşterea lentă a ascensiunii drepte a aştrilor, odată cu retrogradarea punctului vernal γ pe ecliptică.*

Precesia echinocţiilor explică schimbarea poziţiei punctului vernal în raport cu cele 12 *constelaţii zodiacale,* care şi-au primit numele lor proprii cu două milenii în urmă. În acea perioadă, punctul vernal se găsea în dreptul constelaţiei zodiacale *Berbecul (Aries),* al cărui simbol îl poartă şi în prezent. În cele două milenii însă, punctul vernal a retrogradat cu 2 000 de ani × 50″.3, adică cu aproximativ 30°, deplasându-se din dreptul constelaţiei *Berbecul* în dreptul constelaţiei zodiacale *Peştii (Pisces);* cu toate acestea, punctul vernal îşi păstrează simbolul γ al constelaţiei în dreptul căreia se afla acum 2 000 ani. De altfel, în următorii 24 000, ani punctul vernal va reveni în dreptul constelaţiei *Berbecul,* pentru a-şi justifica din nou simbolul astronomic.

* La capitolul 18 „Timpul" se prezintă şi celelalte consecinţe ale retrogradării punctului vernal: variaţia *zilei siderale* în raport cu perioada de rotaţie a Pământului şi diferenţa dintre *anul sideral* şi *anul tropic.*

§4 Mişcarea aparentă a Lunii

1 Câteva consideraţii asupra mişcărilor reale ale Lumii

Luna, satelitul natural al Pământului, are două mişcări principale:*mişcarea de translaţie (revoluţie) în jurul Pământului şi mişcarea de rotaţie în jurul axei proprii.*

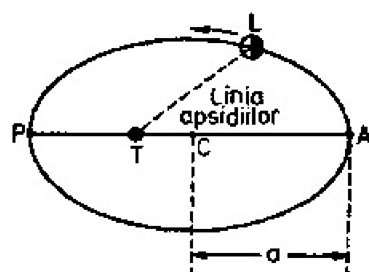


Fig. 17-16

Mişcarea de revoluţie a Lunii se conformează legii I a lui Kepler: mişcarea are loc pe o orbită eliptică, Pământul *(T)* ocupând unul din focare (fig. 17-16). Extremitatea axei mari a eclipsei, cea mai apropiată de Pământ, se numeşte *perigeu (P),* iar cea mai depărtată – *apogeu (A);* axa mare *PA* se numeşte *linia apsidiilor.*

Semiaxa mare a orbitei lunare se consideră egală cu distanţa medie Pământ – Lună = 60.3 raze terestre; distanţa maximă *TA* = 63.9 raze terestre, iar distanţa minimă *TP* = 56.1 raze terestre.

Excentricitatea orbitei lunare este e = 0.066, orbita fiind deci aproape circulară.

Dacă Luna ar fi supusă numai atracţiei Pământului, mişcarea ei de translaţie ar urma în totalitate legile lui Kepler. Mişcarea Lunii este supusă însă şi acţiunii de atracţie a celorlalte corpuri ale sistemul solar, între care influenţele pèrtubatoare ale Soarelui sunt cele mai pronunţate, dată fiind masa lui importantă; aceste influenţe fac ca mişcarea de translaţie a Lunii să aibă un caracter complex, cu anumite abateri de la legea a II-a a lui Kepler.

Planul orbitei Lunii în jurul Pământului are o înclinare madie de 5°09′ faţă de planul orbitei Pământului în jurul Soarelui.

Mişcarea de rotaţie a Lunii este definită de *legile lui Cassini,* care arată că:

a – Luna execută o mişcare de rotaţie uniformă în jurul axei proprii, ai cărei poli sunt ficşi pe suprafaţa lunară, cu o perioadă egală cu cea a mişcării de translaţie în jurul Pământului. Egalitatea celor două perioade are ca urmare faptul că *Luna ne arată întotdeauna aceeaşi faţă,* fenomen ce poate fi constatat cu uşurinţă de observatorul terestru;

b – axa polilor lunari are o înclinare de 83°.5 faţă de planul orbitei de revoluţie.

2 Mişcarea aparentă a Lunii pe sfera cerească

Dacă observatorul terestru priveşte cerul cu ochiul liber câteva nopţi la rând chiar în decursul aceleiaşi nopţi, la intervale de câteva ore, poate constata cu uşurinţă că Luna are o mişcare aparentă evidentă printre stele, în sens direct.

În cazul în care observarea se face cu binoclul, această mişcare faţă de stelele din jur devine evidentă chiar în intervalul a câteva minute de observaţie.

Procedându-se la determinarea poziţiilor succesive L_1, L_2, L_3, ... ale Lunii pe sfera cerească, se constată că satelitul nostru îşi execută mişcarea aparentă în sens direct de-a lungul unui cerc mare* în timp de 27.3 zile (fig. 17-17).

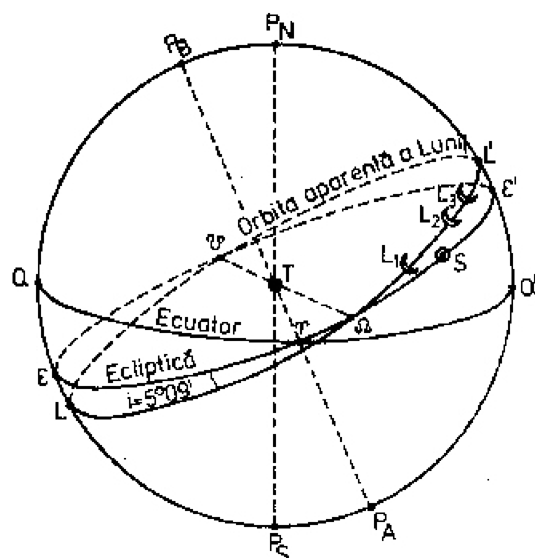


Fig. 17-17

Cercul mare descris de Lună în mişcarea sa aparentă pe sfera cerească, denumit în cele ce urmează *orbita aparentă a Lunii*, prezintă următoarele particularităţi:

– are o înclinare medie faţă de ecliptică de 5°09′, variind în decurs de aproximativ 173 zile între 5°00′ şi 5°18′; variaţia înclinării orbitei aparente a Lunii faţă de ecliptică este cauzată de mişcarea de nutaţie;

– intersectează ecliptica în două puncte numite *noduri: nodul ascendent* **Ω**, prin care Luna trece din emisfera australă în cea boreală; *nodul descendent* **Ω**, prin care Luna trece din emisfera boreală în cea australă.

Linia nodurilor retrogradează în planul eclipticii cu 19°20′.5 pe an, astfel că fiecare nod lunar execută o mişcare completă pe ecliptică în decurs de 18 ani şi 7 luni; retrogradarea liniei nodurilor este derminată de mişcarea de nutaţie.

3 Variaţia coordonatelor Lunii

Ascensiunea dreaptă a Lunii are o creştere continuă neuniformă, astfel că în perioada unei revoluţii complete ia toate valorile cuprinse între 0° şi 360°. Creşterea medie zilnică a ascensiunii drepte a Lunii este de aproximativ 13°15′ (53 minute), valoare care arată mişcarea zilnică aparentă de la vest la est a Lunii pe sfera cerească, deci de aproximativ 13 ori mai rapidă decât a Soarelui. *Acest fapt explică de ce*

* În realitate, traiectoria mişcării aparente a Lunii, deşi foarte apropiată de un cerc mare, nu este o curbă închisă; a fost asimilată cu un cerc mare pentru facilitarea înţelegerii consideraţiilor care urmează.

intervalul de timp necesar Lunii ca să culmineze de două ori consecutiv la același meridian este mai mare cu aproximativ 53 minute decât al unei stele.

Creșterea zilnică a ascensiunii drepte a Lunii este cuprinsă între limitele de 9°45′ (39 minute) și 16°15′ (65 minute).

Declinația Lunii variază în decursul unei revoluții complete funcție de pozițiile relative ale orbitei aparente a Lunii, ecuatorului ceresc și a eclipticii, ca urmare a retrogradării liniei nodurilor lunare în planul eclipticii și a variației înclinării orbitei aparente lunare față de ecliptică.

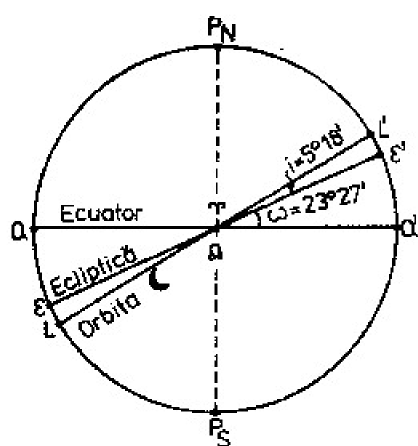


Fig. 17-18a

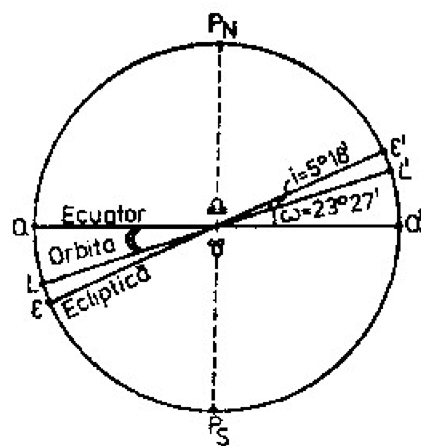


Fig. 17-18b

În cursul unei revoluții complete a Lunii, declinația atinge valori maxime când astrul se află pe direcția normală la linia nodurilor lunare (punctele L și L'), ce trece prin centrul sferei cerești (fig. 17-17). Înclinația maximă a orbitei lunare față de ecliptică fiind de 5°18′, rezultă că declinația Lunii poate atinge valoarea absolută maximă $\delta = 23°27' + 5°18' = 28°45'$, când nodul ascendent lunar trece prin punctul vernal și eliptica se află între ecuatorul ceresc și orbita aparentă lunară (fig. 17-18 *a*).

Când înclinația orbitei lunare față de ecliptică păstrează valoarea maximă de 5°18′ și nodul descendent trece prin punctul tomnal Ω, iar orbita aparentă lunară se află între ecliptică și ecuatorul ceresc (fig. 17-18 *b*), declinația poate atinge valoarea absolută maximă $\delta = 23°27' - 5°18' = 18°09'$.

În concluzie, în cursul unei revoluții complete, declinația Lunii poate să ia valori cuprinse între zero, când trece prin planul ecuatorului și valorile maxime absolute de 23°27′±5°18′, adică 28°45′ și respectiv 18°09′.

Variația zilnică a declinației lunare este maximă la trecerea prin noduri, când poate atinge valoarea de 7° și minimă – când se află pe direcția normală la linia nodurilor, ce trece prin centrul sferei cerești (fig. 17-17).

4 Fazele Lunii

De fazele Lunii sunt legate o serie de fenomene ale naturii de mare importanță în navigație: mareele, luminozitatea nopților și condițiile de observație a înălțimilor aștrilor pentru determinarea punctului navei.

Se știe că Luna este un corp ceresc fără lumină proprie, care reflectă lumina primită de la Soare; fazele Lunii sunt consecința pozițiilor relative pe care le ocupă Soarele și Luna în raport cu Pământul (fig. 17-19).

Considerăm Luna în opt poziții succesive L_1–L_8 ale mișcării sale de translație în jurul Pământului *T*, luminată de razele Soarelui, pe care le presupunem paralele – dată fiind distanța mare a astrului zilei. Emisfera Lunii expusă spre Soare este luminată, iar cea opusă este întunecată. Fazele Lunii F_1–F_8 sunt funcție de unghiul ρ format între cercul mare lunar *mm'* (poziția L_2), normal la direcția Pământ–Lună și

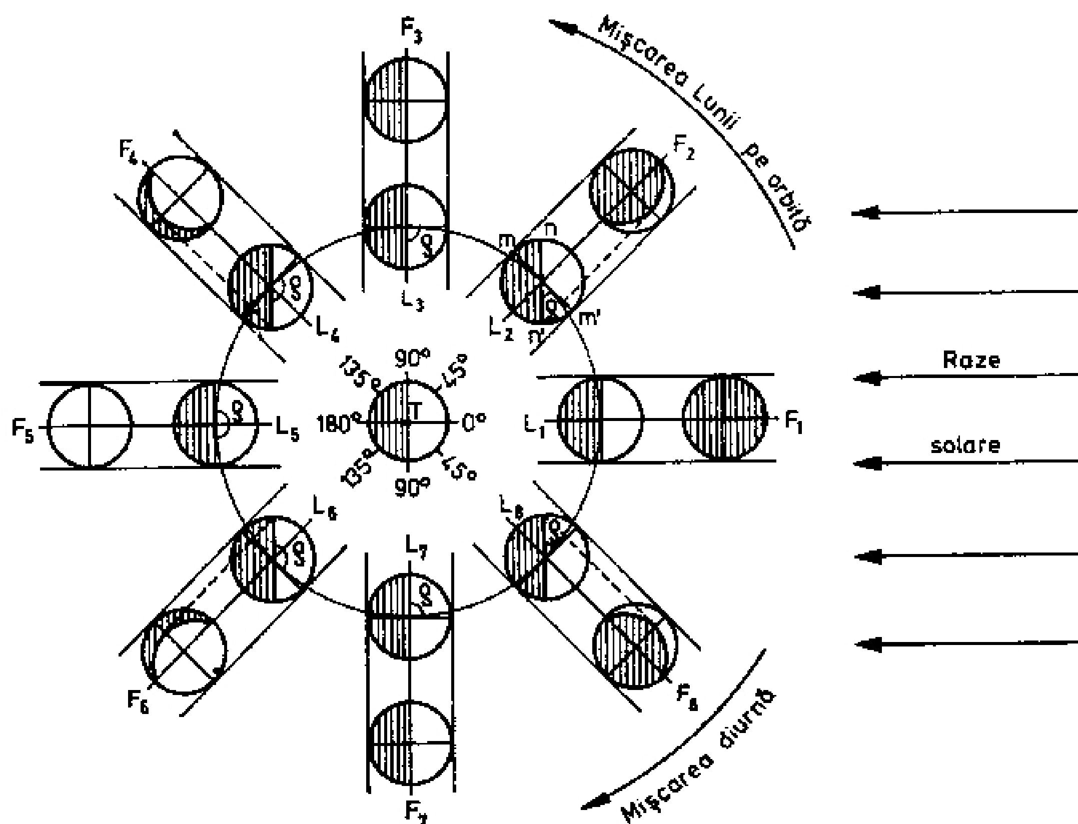


Fig. 17-19

cercul mare de iluminare a Lunii nn', normal la razele solare; ρ este denumit *unghi de fază*. Figura 17-19 arată că *unghiul de fază* ρ *este egal cu unghiul văzut de observatorul terestru între direcțiile Pământ–Soare* și *Pământ–Lună*, numit *elongație*. Fazele principale ale Lunii sunt următoarele:

– *Luna nouă* F_1, ρ = 0°, Luna la *conjuncție* cu Soarele. Luna răsare, culminează și apune odată cu Soarele, astfel că discul lunar nu se vede de către observatorul terestru, datorită luminii solare;

– *Luna la primul octant* F_2, ρ = 45°, se vede seara după apusul Soarelui timp de aproximativ 3 ore în formă de secere, având convexitatea spre Soare, deci spre vest. Această fază apare după 3.5 zile de la *Luna nouă;*

– *Luna la primul pătrar* sau la *prima cuadratură* F_3, ρ = 90°, se vede în formă de „*D*" seara după apusul Soarelui timp de aproximativ 6 ore, luminând prima jumătate a nopții; Luna se află la primul pătrar după 7.5 zile de la Luna nouă;

– *Luna la al doilea octant* F_4, $\rho = 135°$, se vede cea mai mare parte a nopții, apunând cu aproximativ 3 ore înainte de răsăritul Soarelui. Trece prin această fază după 11 zile de la Lună nouă;

– *Lună plină* F_5, $\rho = 180°$, Luna se află la opoziție cu Soarele, se vede tot timpul nopții ca un disc luminat, răsărind aproximativ în același timp cu apusul Soarelui. Luna ajunge la opoziție cu Soarele după aproximativ 15 zile de la Lună plină;

– *Luna la al treilea octant* F_6, $\rho = 135°$, răsare cu aproximativ 3 ore după apusul Soarelui, luminând cea mai mare parte a nopții. Luna trece prin această fază după aproximativ 18.5 zile de la Luna nouă;

– *Luna la ultimul pătrar* sau *la a doua cuadratură* F_7, $\rho = 90°$, răsare cu aproximativ 6 ore înainte de răsăritul Soarelui, luminând a doua jumătate a nopții. Trece prin această fază după 21.5 zile de la Luna plină;

– *Luna la al patrulea octant* sau *la ultimul octant* F_8, $\rho = 45°$, se vede dimineața timp de aproximativ 3 ore înainte de răsăritul Soarelui, în formă de secere cu convexitatea spre est. Luna trece prin această fază după 25.5 zile de la Luna plină.

În continuare, partea luminată a Lunii se reduce treptat, astfel că după aproximativ 29.5 zile revine în faza de *Lună nouă*.

Când Luna se află la *conjuncție* sau la *opoziție*, se spune că *Luna estre la sizigii*.

Intervalul de timp cât Luna se vede pe cer pe timpul *nopții solare* la o anumită fază și într-un anumit loc de pe suprafața Pământului este funcția de valoarea și semnul declinației Lunii față de cea a Soarelui, care determină raportul dintre arcele diurne și nocturne ale celor doi aștri.

5 Revoluția siderală și sinodală a Lunii

Revoluția siderală a Lunii este mișcarea sa aparentă pe sfera cerească astfel ca să treacă de două ori consecutiv în dreptul aceleiași stele. Perioada medie a revoluției siderale a Lunii este de 27.32 zile solare medii sau $27^d7^h43^m11.5^s$*.

Revoluția sinodală a Lunii este mișcarea aparentă pe sfera cerească astfel ca Luna să treacă de două ori consecutiv prin aceeași fază. Perioada medie a revoluției sinodale este de 29.53 zile solare medii sau $29^d12^h44^m03^s$.*

Vârsta Lunii este numărul întreg de zile care au trecut de la ultima *Lună nouă*. Vârsta Lunii definește faza astrului nopții; ea este trecută în *efemerida nautică*. Deoarece perioada revoluției sinodale a Lunii este egală cu un număr neîntreg de zile, vârsta Lunii se exprimă alternativ de la 1 la 29 și apoi de la 1 la 30 etc...

§5 Mișcarea aparentă a planetelor pe sfera cerească

1 Despre planete

Planetele sunt aștri care gravitează în jurul Soarelui; ele sunt corpuri cerești stinse care reflectă lumina primită de la Soare. În tabelul 17-1 de mai jos se enumeră cele două *planete* mari ale sistemului nostru solar, în ordinea depărtării lor de Soare, precum și câteva date caracteristice:

---

* Unitățile de timp indicate sunt exprimate în *timp mediu* (vezi cap. 18, § 4).

Tabelul 17-1

Numele	Diametrul (km)	Distanța Soare – planetă (mii de km)	Viteza medie pe orbită (km/s)	Perioada revoluției siderale	Înclinarea orbitei planetei față de cea terestră
Mercur	5000	58000	48	88 zile	7°
Venus	12400	108000	35	225 zile	3°24′
Pământ	12740	149500	30	365 zile	–
Marte	6783	228000	24	687 zile	1°51′
Jupiter	139560	778000	13.1	11.86 ani	1°19′
Saturn	115100	1426000	9.6	29.46 ani	2°30′
Uranus	51000	2868000	6.8	84.01 ani	0°46′
Neptun	50000	4494000	5.4	164.8 ani	1°47′
Pluton	6000	5920000	4.7	249 ani	17°07′

Între acestea, cinci planete se văd cu ochiul liber, fiind cunoscute din antichitate: Mercur, Venus, Marte, Jupiter și Saturn. Uranus a fost descoperită în 1781 de către Herschel.

Poziția lui Neptun a fost calculată de către Le Verrier pe baza perturbațiilor provocate în orbita lui Uranus, fapt care a făcut să se spună că „Le Verrier a descoperit pe Neptun în vârful condeiului său"; planeta a fost apoi recunoscută pe bază de observație de către Galle, în 1846.

Pluton a fost descoperită în 1930 prin fotografiere.

În navigația astronomică se folosesc doar patru planete: Venus, Marte, Jupiter și Saturn; Mercur, fiind foarte aproape de Soare, se vede rar și pentru intervale reduse de timp.

Planetele Mercur și Venus, ale căror orbite sunt interioare celei terestre, se numesc *planete inferioare* sau *interioare*.

Planetele Marte, Jupiter, Uranus; Neptun și Pluton, ale căror orbite sunt exterioare celei terestre, se numesc *planete superioare* sau *exterioare*.

Particularitățile mișcării diurne ale unei planete sunt determinate de faptul că planeta respectivă este inferioară sau superioară.

Unele planete au sateliți care gravitează în jurul lor: Pământul – 1, Marte – 2, Jupiter – 11, Saturn – 10, Uranus – 5 și Neptun – 2.

Sistemul solar mai cuprinde și o serie de *planete mici* sau *asteroizi*, majoritatea dintre ei gravitând între orbitele lui Marte și Jupiter; în prezent sunt identificate aproximativ 1500 planete mici, între care cu ochiul liber se poate distinge doar una: *Vesta*.

Planetele sunt animate de două mișcări reale principale:

– *mișcarea de rotație* în jurul unei axe proprii, care are o anumită înclinare față de planul orbitei planetei. Toate planetele au mișcarea de rotație în sens retrograd. Această mișcare nu prezintă interes în navigația astronomică;

– *mișcarea de translație în jurul Soarelui* pe orbite ecliptice, a căror plane, așa cum se vede în tabelul 17-1, sunt apropiate de planul eclipticii. Această mișcare, importantă în navigație pentru faptul că explică variația coordonatelor, este

guvernată de legile lui Kepler. Punctul cel mai apropiat de Soare al orbitei planetare se numeşte *periheliu;* cel mai depărtat este denumit *afeliu.*

Intervalul de timp necesar unei planete ca să execute o mişcare de translaţie completă în jurul Soarelui se numeşte *revoluţie siderală.*

2 Mişcarea aparentă a planetelor pe sfera cerească

A *Forma traiectoriei mişcării aparente a planetelor*

Mişcarea aparentă a unei planete pe sfera cerească este rezultanta a două mişcări reale: mişcarea de translaţie a planetei şi cea a Pământului în jurul Soarelui.

Dacă se urmăresc traiectoriile mişcărilor aparente descrise de planete printre stele pe sfera cerească, se constată următoarele:

– aceste traiectorii se menţin în *zona constelaţiilor zodiacale* de pe sfera cerească, delimitată de cercurile paralele situate la 8°.5 faţă de ecliptică (fig. 17-20);

– sistemul preponderent al mişcării aparente a planetelor este cel direct, ca şi al Soarelui şi al Lunii, dar în anumite perioade el devine retrograd, traiectoria luând forma unui „S" sau a unei bucle. La schimbările de sens ale mişcării aparente pe traiectorie, planeta devine *„staţionară"* în raport cu stelele din jur; se spune că planeta se află la o *„staţie"*.

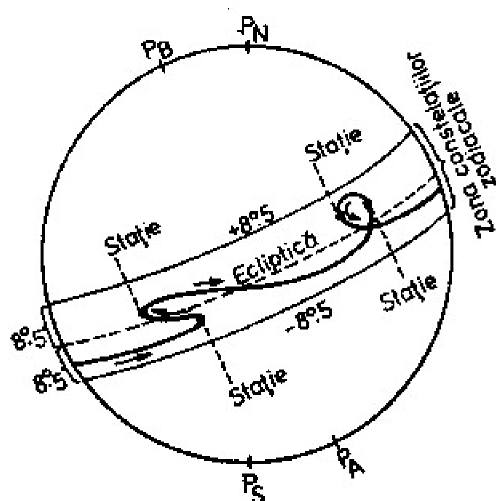


Fig. 17-20

Mişcările aparente în sens retrograd ale unei planete au loc când planeta şi Soarele ocupă anumite poziţii în raport cu Pământul.

B *Poziţiile relative ale planetelor şi ale Soarelui în raport cu Pământul*

Pentru facilitarea definirii poziţiilor relative ale planetelor şi ale Soarelui în raport cu pământul, considerăm orbitele planetelor de formă circulară, proiectate pe planul eclipticii; în figura 17-21 reprezentăm Soarele în centrul *S*, Pământul în *T*, o planetă inferioară gravitând pe cercul interior M_0, M_1, … M_4.

Unghiul văzut de observatorul terestru între direcțiile la Soare și la o planetă la un moment dat se numește *elongație* (ρ); elongația este *estică* sau *vestică*, după cum planeta se află la est sau vest în raport cu Soarele.

O planetă se află la *conjuncție* sau la *opoziție* cu Soarele când proiecția acesteia pe ecliptică, Soarele și Pământul se află pe o linie dreaptă.

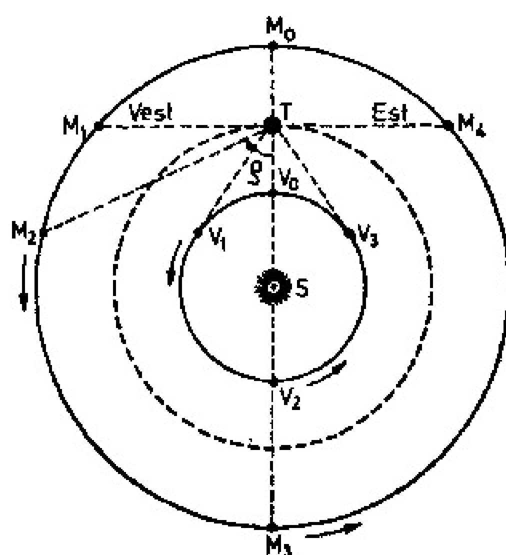


Fig. 17-21

Planeta este la *conjuncție* cu Soarele când cei doi aștri au elongația egală cu zero; planeta superioară M este la conjuncție când se află în M_3.

Planeta inferioară V are două conjuncții: *conjuncția inferioară*, când planeta se află în V_0, între Pământ și Soare; *conjuncția superioară*, când planeta se află în V_2, deci Soarele între Pământ și planetă.

Planeta superioară este la *opoziție* când se află în M_0, elongația are valoare 180°, deci planeta se vede în sens opus Soarelui.

Planeta superioară se află la *cuadratură* când elongația este egală cu 90°, în M_1 sau M_4; funcție de sensul elongației, cuadratura este estică sau vestică.

Intervalul de timp scurs între două conjuncții consecutive de același nume sau între două opoziții, ale unei planete, se numește *revoluție sinodală*.

Planetele inferioare Mercur și Venus pot să se proiecteze pe discul solar, apărând sub forma unor pete mici; fenomenul este denumit *ocultație*. O planetă inferioară dă naștere fenomenului de ocultație când se află în planul eclipticii, la conjuncția inferioară.

C Mișcarea aparentă a planetelor inferioare

Elongația unei planete inferioare poate lua valori de la zero la o valoare maximă spre est sau vest, numită *digresiune maximă;* astfel, planeta inferioară V din figura 17-21 se află la digresiunea maximă vestică, în V_1 și la cea estică, în V_3.

Digresiunea maximă a planetei Mercur poate atinge valoarea de 28°, iar cea a lui Venus de 47°, spre est sau vest.

Când planeta inferioară are o elongație estică de o valoare suficientă, astfel ca ea să nu fie acoperită de lumina solară, planeta se vede dimineața înainte de răsăritul Soarelui; dacă elongația este vestică, planeta se vede seara după apusul Soarelui.

Desigur, intervalul de timp al vizibilității planetei este cu atât mai mare, cu cât ea se află mai aproape de digresiunea maximă.

Ca urmare a acestei particularități în mișcarea diurnă a planetei Venus, ea este denumită în vorbirea curentă – *luceafăr de seară*, când se vede seara după apusul Soarelui și *luceafăr de dimineață*, când răsare dimineața înaintea răsăritului Soarelui. Intervalul de timp maxim al vizibilității lui Venus seara sau dimineața poate fi de aproximativ 3 ore, când planeta se află în apropierea digresiunii maxime.

Mișcarea aparentă a unei planete inferioare pe sfera cerească are în principal sensul direct; la un moment, planeta poate deveni *staționară*, după care își schimbă sensul în retrograd.

Schimbarea sensului direct al mișcării aparente a unei planete inferioare în sens retrograd are loc în apropierea conjuncției inferioare (fig. 17-22). Potrivit legii a III-a a lui Kepler, viteza orbitală a planetei inferioare V este mai mare decât cea a Pământului *T* (fig. 17-22 *a*); în consecință, spațiile orbitale parcurse într-un anumit timp $V_1 V_2 > T_1 V_2$ $V_3 > T_2 T_3$ etc. Considerând Pământul staționar în *T* (fig. 17-22 *b*) și reprezentând diferențele spațiilor orbitale $V_1 V_2 = V_1V_2 - T_1 T_2$ etc..., în apropierea conjuncției inferioare, observatorul terestru vede planeta inferioară *V* în direcțiile succesive $TV_1, \ldots, TV_5$, deplasându-se aparent în sens retrograd.

În concluzie, ***mișcarea aparentă retrogradă a planetei inferioare în apropierea conjuncției inferioare este consecința faptului că viteza orbitală a acesteia este mai mare decât cea a Pământului.***

Traiectoria mișcării aparente printre stele a unei planete inferioare, determinată de valorile succesive ale coordonatelor ei ecuatoriale – ascensiunea dreaptă α și declinația δ, prezintă o formă în genul celei redate în figura 17-23, la care distingem următoarele particularități:

– mișcarea aparentă în sens direct a planetei în jurul Soarelui este preponderentă;

– traiectoria prezintă arce în sens retrograd, al căror centru (V_3, V_7) corespunde aproximativ conjuncției inferioare a planetei. În punctele V_2, V_4, V_6 și V_8, în care traiectoria mișcării aparente schimbă de sens, planeta devine *staționară*, coordonatele ei pentru un anumit interval de timp devin constante; se spune că planeta se află la o *stație;*

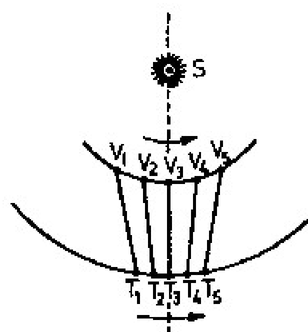


Fig. 17-22 a

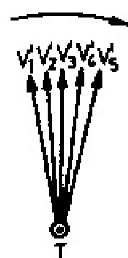


Fig. 17-22 b

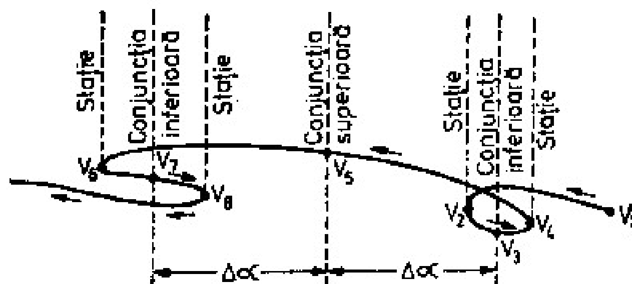


Fig.17-23

– la schimbările de sens, traiectoria ia forme de buclă sau în „S";

– conjuncția superioară (V_5) pe traiectorie este punctul în care variația $\Delta\alpha$ a ascensiunii drepte a planetei în raport cu punctele conjuncțiilor inferioare $(V_3$ și $V_7)$ este egală;

– digresiunea maximă are loc în apropierea stațiilor.

D *Mişcarea aparentă a planetelor superioare*

Elongaţia planetelor superioare ia valori de la 0° la 180°, spre est sau vest; astfel, elongaţia planetei *M* din figura 17-21 este 0° la conjuncţie, 90° la cuadratură şi 180° la opoziţie.

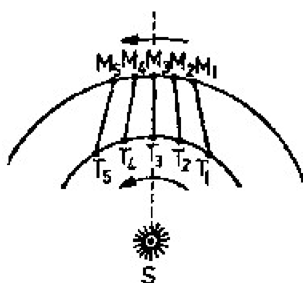


Fig. 17-24a

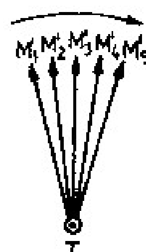


Fig. 17-24b

Ca şi planetele inferioare, planetele superioare au mişcarea aparentă preponderentă în sens direct; au de asemenea perioade de staţii şi de mişcare aparentă în sens retrograd.

Mişcarea retrogradă a planetelor superioare are loc în apropierea opoziţiilor, ca urmare a faptului că viteza orbitală a Pământului este mai mare decât cea a unei planete superioare (potrivit legii a III-a lui Kepler). Spaţiile orbitale M_1 M_2, M_2 M_3 etc. parcurse într-un interval de timp de planeta superioară *M* sunt mai mici decât spaţiile orbitale T_1 T_2, T_2 T_3 etc. parcurse în acelaşi timp de Pământ (fig. 17-24 a). Considerând Pământul staţionar în *T* (fig. 17-24 b) şi trasând diferenţa spaţiilor M_1 $M_2 = T_1T_2 - M_1M_2$ etc...., în apropierea opoziţiei, observatorul terestru vede planeta superioară *M* în direcţiile succesive $TM_1, ..., TM_5$, deplasându-se aparent în sens retrograd.

Traiectoria mişcării aparente a unei planete superioare pe sfera cerească este de forma celei prezentate în figura 17-25. Opoziţia M_3 a planetei superioare se află în centrul arcului de traiectorie între spaţiile M_2 şi M_4; variaţia ascensiunii drepte a planetei în intervalele de timp corespunzătoare parcurgerii arcelor M_2M_3 şi respectiv M_3M_4 sunt egale. De asemenea, opoziţia M_3 pe traiectorie este simetrică în raport cu conjuncţiile M_1 şi M_5.

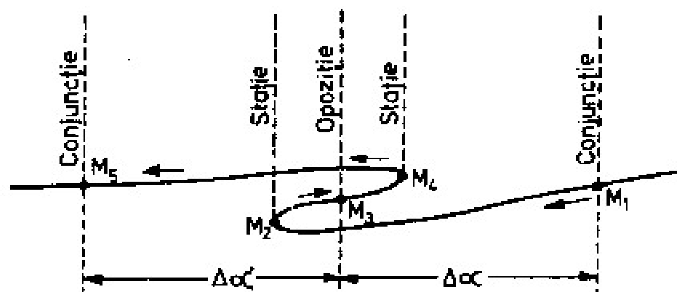


Fig. 17-25

Arcele mişcării retrograde de tipul M_2M_4 sunt cu atât mai mari şi viteza mişcării aparente este cu atât mai mare, cu cât planeta superioară este mai aproape de Pământ; astfel, de exemplu, arcele mişcării retrograde ale lui Marte sunt de 10°–19° şi sunt

parcurse în 57 la 80 zile, pe când cele ale lui Saturn iau valori de numai 6°–7° și sunt parcurse în 136 la 140 zile. Rezultă că variația coordonatelor ecuatoriale ale planetelor superioare pe arcele mișcării aparente retrograde scade cu cât planeta este mai depărtată de Pământ.

E *Variația coordonatelor ecuatoriale ale planetelor*

Variația coordonatelor ecuatoriale ale planetelor, ascensiunea dreaptă și declinația – este neregulată, fapt explicat de forma traiectoriei mișcării aparente a acestor aștri, precum și de viteza neuniformă a planetelor pe aceste traiectorii. Astfel, ascensiunea dreaptă, funcție de timp, poate să crească sau să scadă, după cum planeta se mișcă în sens direct sau retrograd; declinația poate să aibă o creștere pozitivă sau negativă, după cum planeta pe traiectoria mișcării sale aparente se deplasează spre polul nord sau polul sud.

Mișcarea diurnă a unei planete este mișcarea dintre mișcarea diurnă a sferei cerești și mișcarea aparentă a acesteia printre stele, ca urmare a mișcărilor de translație ale planetei și a Pământului în jurul Soarelui.

Unghiul orar al planetei în mișcarea diurnă variază la fel cu a unei stele doar în perioadele când planeta se află la stații. Când mișcarea aparentă a planetei pe traiectoria sa este în sens direct, unghiul orar al planetei are o *retracție* în raport cu cel al unei stele; când planeta retrogradează, unghiul orar al acesteia are un *avans* în comparație cu al stelei.

18 TIMPUL ȘI MĂSURAREA LUI

§1 Generalități

Am văzut că unghiul orar t al unui astru oarecare urmărește astrul în mișcarea sa diurnă, luând valori de la 0° (0^h) la 360° (24^h), între două treceri consecutive la meridianul superior al observatorului. Dacă facem apel la puțină imaginație, observăm că rotirea în sens retrograd a proiecției cercului orar al unui astru A în jurul polului ceresc P_N (fig. 18-1), urmărind astrul în mișcarea sa diurnă, poate fi asemuită cu mișcarea acului indicator al unui ceasornic, care ar avea cadranul gradat cu 0° (0^h) pentru momentul culminației superioare, 90° (6^h) la trecerea prin est și 360° (24^h) în momentul revenirii în meridianul superior.

Deoarece variația unghiului orar este uniformă, sub influența mișcării diurne a sferei cerești, această coordonată astronomică s-a dovedit a fi cea mai potrivită pentru măsurarea timpului; măsurarea unghiului orar al unui astru, ca bază de determinare a timpului, face posibilă soluționarea a două probleme de mare importanță practică: *precizarea unui moment dat* și determinarea unui interval de timp *dintre două momente date*.

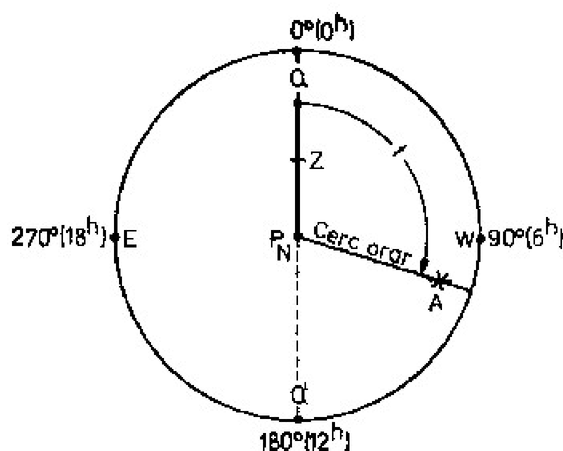


Fig. 18-1

De aceea, în astronomic, unghiul orar și timpul au aceeași semnificație și se notează cu același simbol, t.

Unghiul orar, respectiv timpul unui astru, se exprimă în unități sexagesimale de arc sau în unități de timp, care se află în următoarele relații:

$360^\circ = 24^h$ | $24^h = 360^\circ$
$15^\circ = 1^h$ | $1^h = 15^\circ$
$1^\circ = 4^m$ | $1^m = 15'$
$1' = 4^s$ | $1^s = 15'' = 0'.25$
$0'.1 = 0^s.4$

Definind timpul ca valoarea unghiului orar al unui astru, timpul se va numi *timp stelar, planetar* sau *lunar,* după cum se măsoară unghiul orar al unei stele, al Soarelui, al unei planete sau al Lunii.

Desigur că pentru măsurarea timpului, cea mai comodă soluție este folosirea unui astru al cărui unghi orar are o variație uniformă. Astfel, pentru măsurarea timpului, astrul ideal ar fi cel cu o poziție fixă pe sfera cerească, deoarece variația unghiului său orar în acest caz ar fi uniformă, fiind funcție numai de mișcarea diurnă. Aștrii care satisfac în cea mai mare măsură această condiție sunt stelele, deoarece *timpul stelar* este cel mai uniform.

Dacă asimilăm punctul vernal cu o stea, variația unghiului orar al acestuia satisface condiția uniformității în aceeași măsură; unghiul orar al punctului vernal se numește *timp sideral.*

Timpul stelar și cel sideral satisfac cerințele activităților practice ale astronomiei. Activitatea de toate zilele a societății este condiționată însă de lumina și căldura Soarelui; de aceea, *timpul solar* se pretează cel mai bine pentru uzul general în viața socială.

Unitatea de măsură a timpului este *ziua,* care reprezintă intervalul de timp scurs între două culminații ale astrului la același meridian; funcție de astrul folosit pentru măsurarea timpului, ziua este denumită *zi stelară, siderală, solară, planetară* sau *lunară.* Ziua are subdiviziunile ei: ora, minutul și secunda.

La capitolul 17 s-a arătat că aștrii sistemului solar au diferite mișcări aparente proprii pe sfera cerească, de viteze neuniforme: Soarele are o mișcare pe eliptică în sens direct (în sens opus mișcării diurne) de aproape 1° pe zi, Luna de 13°15′ în medie pe zi, de asemenea în sens direct, iar planetele au o mișcare neregulată, în sens direct și periodic în sens retrograd. Acest fapt face ca ziua solară să fie mai mare decât ziua stelară cu aproape 4 minute, cea lunară mai mare în medie cu 53 minute, iar cea planetară este mai mare sau mai mică, după cum planeta are o mișcare aparentă directă (cauzând o *retardație*) sau *retrogradă* (cauzând o *accelerație*); de asemenea, neuniformitatea mișcării aparente a aștrilor sistemului solar (fapt explicat de legea a II-a a lui Kepler), face ca ziua solară, lunară și planetară să fie de o durată variabilă.

Originea de contare a unghiului orar este meridianul superior al observatorului. Prin urmare, începutul zilei (siderale, lunare etc.) are loc la culminația superioară a astrului.

Acest mod de contare a timpului contravine cerințelor practice în cazul timpului solar folosit în viața socială; menținând sistemul, ar însemna ca ziua să înceapă și deci data să se schimbe la culminația superioară a Soarelui, în plină activitate cotidiană. Pentru a se înlătura acest neajuns, s-a convenit ca timpul solar, folosit pentru activitățile cotidiene ale societății, să fie contat de la meridianul inferior, deci ziua să înceapă la culminația inferioară a Soarelui, la *miezul nopții.*

Rezultă că în măsurarea unghiului orar, ca bază de determinare a timpului, se aplică două sisteme:

– *timpul astronomic*, măsurat de la meridianul superior al observatorului; este denumit astfel pentru că este folosit în astronomie;

– *timpul civil*, măsurat de la meridianul inferior; se aplică la măsurarea timpului solar folosit pentru cerințele practice ale vieții sociale.

Prin urmare, timpul civil al unui astru la acelaşi meridian este diferit cu 180° (12^h) față de timpul astronomic.

§2 Relația dintre timpul a două locuri de longitudini diferite. Timpul la Greenwich

Unghiul orar al unui astru, respectiv timpul unui astru la un moment dat, se măsoară de la meridianul superior al observatorului; meridianul observatorului este determinat de longitudinea locului. Timpul unui astru la un moment dat măsurat de la meridianul superior al locului, definit prin longitudinea sa, se numeşte *timpul locului* (t).

Considerăm o protecție a emisferei nordice pe planul ecuatorului ceresc (fig. 18-2), în care reprezentăm meridianul Greenwich, meridianele locurilor Z_1 şi Z_2, de longitudini λ_1 şi respectiv λ_2, precum şi cercul orar al unui astru A. Timpul astrului A la un moment dat la cele două meridiane este t_1 şi t_2; aşa cum se vede în figura 18-2, diferența $t_1 - t_2$ este egală cu diferența de longitudine a celor două locuri:

$$t_1 - t_2 = \lambda_1 - \lambda_2 \qquad (18\text{-}1)$$

de unde:

$$t_1 = t_2 + (\lambda_1 - \lambda_2) \qquad (18\text{-}1')$$

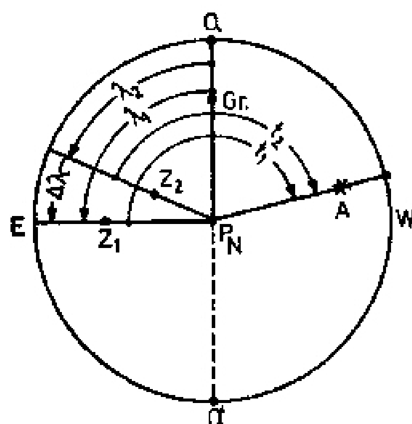


Fig. 18-2

Formula (18-1′) arată că timpul t_1 al unui astru la meridianul unui loc de longitudine λ_1 este egal cu timpul t_2 al aceluiaşi astru la meridianul unui alt loc de longitudine λ_2, însumat algebric cu diferența de longitudine a celor două locuri.

Timpul la Greenwich al unui astru este unghiul orar al astrului măsurat de la meridianul Greenwich; se notează cu T. Funcție de astru, timpul la Greenwich se

numește: *timp stelar la Greenwich, timp sideral la Greenwich, timp solar la Greenwich* etc.

Figura 18-3 reprezintă proiecția pe ecuatorul ceresc a meridianului Greenwich, a meridianelor locurilor Z_1 – longitudine λ_1 estică și Z_2 – de longitudine λ_2 vestică, precum și a cercului orar al unui astru *B* pentru un moment dat.

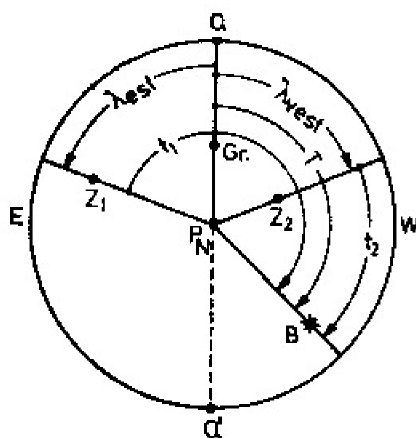


Fig. 18-3

Relația care leagă timpul locului, timpul la Greenwich al astrului și longitudinea locului este următoarea:

$$t = T + \lambda \qquad (18\text{-}2)$$

de unde:

$$T = t - \lambda \qquad (18\text{-}2')$$

expresii care se rezolvă algebric, funcție de semnul longitudinii locului.

§3 Timpul sideral

Așa cum s-a arătat la § 1 de mai sus, timpul sideral este unghiul orar al punctului vernal; se exprimă întotdeauna ca timp astronomic. Timpul sideral al locului se notează cu *ts*, iar timpul sideral la Greenwich cu *Ts*.

Ziua siderală este egală cu intervalul de timp dintre două culminații consecutive ale punctului vernal la meridianul superior al locului.

Retrogradarea punctului vernal ca urmare a mișcării de precesie a axei polilor cerești, cu o valoare medie zilnică de 50″.3, face ca durata zilei siderale să fie puțin diferită de perioada de rotație a Pământului în jurul axei sale și anume, mai mică cu aproximativ 0.01 secunde; totuși, ținând seama de precizia instrumentelor de măsurare a timpului, această diferență poate fi neglijată și, practic, ziua siderală se poate considera ca un interval de timp constant, iar timpul sideral proporțional cu mișcarea diurnă a sferei cerești.

Pentru a face posibilă măsurarea cu precizie a timpului sideral, ziua siderală este împărțită în 24 ore siderale, ora siderală în 60 de minute siderale, iar minuta siderală în 60 secunde siderale. Timpul sideral se măsoară cu *pendule siderale,* folosite pentru nevoile astronomiei.

Pentru uzul navigației astronomice la bordul navelor, efemeridele nautice conțin timpul sideral la Greenwich la precizie de 0′.1, din oră în oră.

În figura 18-4 reprezentăm într-o proiecție pe ecuator: meridianul locului *Z*, cercul orar al punctului vernal γ, cercul orar al astrului *A*, timpul sideral al locului *ts*, timpul *t* al astrului *A* la meridianul locului și ascensiunea dreaptă α a aceluiași astru. Între timpul sideral *ts*, timpul *t* al astrului și ascensiunea dreaptă α se stabilește relația:

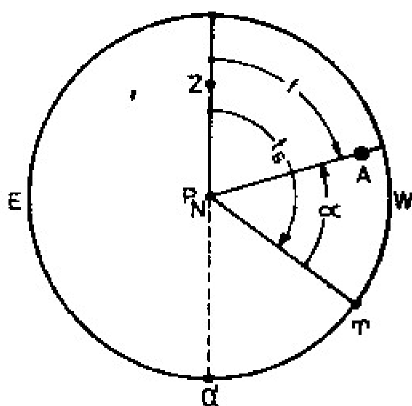


Fig. 18-4

$$ts = t + \alpha \qquad (18\text{-}3)$$

de unde:

$$t = ts - \tau \qquad (18\text{-}3')$$

Pentru stele, efemeridele nautice exprimă valoarea unghiului $\tau = 360° - \alpha$, la precizie de 0′.1; rezultă că, timpul *t* al stelei *B* (fig. 18-5) se calculează din timpul sideral al locului și unghiul τ al stelei respective:

$$t = ts + \tau \qquad (18\text{-}4)$$

relație care prezintă importanță în practica navigației astronomice.

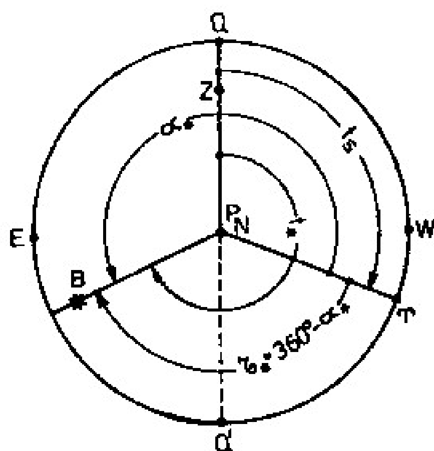


Fig. 18-5

În cazul în care observatorul se află pe meridianul Greenwich, formula devine:

$$T = Ts + \tau \qquad (18\text{-}5)$$

unde *T* = timpul la Greenwich al stelei.

§4 Timpul solar

1 Timpul solar adevărat

Timpul solar adevărat este unghiul solar al Soarelui măsurat de la meridianul superior al observatorului; timpul solar adevărat al locului se notează cu *ta*, iar *timpul solar adevărat la Greenwich* cu *Ta*. Efemeridele nautice exprimă timpul solar adevărat la Greenwich la precizia de $0'.1$, din oră în oră.

Ziua solară adevărată este intervalul de timp dintre două culminaţii consecutive ale Soarelui la meridianul superior al observatorului, care se exprimă deci ca timp astronomic.

Ziua solară adevărată este un interval de timp variabil, fenomen variabil generat de:

– neuniformitatea mişcării aparente a Soarelui pe sfera cerească, rezultantă a două mişcări: *mişcarea diurnă, uniformă* şi *mişcarea anuală aparentă, neuniformă,* fapt explicat de legea a II-a a lui Kepler; viteza orbitală este maximă când Pământul se află la periheliu, la începutul lui ianuarie a fiecărui an şi minimă la afeliu, la începutul lui iulie;

– *înclinarea eclipticii,* descrisă de Soare în mişcarea anuală aparentă, faţă de ecuatorul ceresc, pe care se măsoară unghiul orar. Chiar dacă Soarele ar avea pe ecliptică o mişcare uniformă, descriind arce egale în timpuri egale, înclinarea acesteia faţă de ecuatorul ceresc ar face ca ascensiunea dreaptă a Soarelui să aibă o creştere maximă la solstiţii şi minimă la echinocţii. Ştiind că timpul solar adevărat $ta = ts - \alpha$ (relaţia 18-3'), rezultă că variaţia zilei solare adevărate – sub influenţa înclinării eclipticii faţă de ecuatorul ceresc, este maximă la 22 iunie şi 22 decembrie şi minimă la 21 martie şi 23 septembrie. Diferenţa dintre ziua solară cea mai lungă şi cea mai scurtă din an, generată de înclinarea celor două plane, este de $51^s.2$.

Ziua solară adevărată fiind un interval de timp variabil, nu poate sta la baza măsurării timpului în viaţa de toate zilele.

Durata mişcării Soarelui pe ecliptică se numeşte an; existenţa fenomenului *retrogradării punctului vernal pe ecliptică,* consecinţă a precesiei axei polilor cereşti, determină necesitatea de a se face distincţie între *anul sideral* şi *anul tropic.*

Anul sideral este intervalul de timp necesar Soarelui pentru a trece de două ori consecutiv prin acelaşi punct al eclipticii. Reprezintă deci perioada unei revoluţii complete a Pământului în jurul Soarelui, exprimată de legea a III- a lui Kepler: $\frac{a^3}{T^2}$ = constant; anul sideral este deci un interval de timp constant.

Anul tropic este intervalul de timp necesar Soarelui ca să treacă de două ori consecutiv prin punctul vernal γ. Rezultă că, intervalul de timp al unui an tropic condiţionează revenirea Soarelui la echinocţii şi solstiţii, care separă cele patru anotimpuri pe planeta noastră; astfel, anul tropic asigură respectarea succesiunii anotimpurilor pe Pământ, fapt deosebit de important pentru viaţa societăţii, constituind motivul pentru care el stă la baza întocmirii calendarului.

Anul tropic este egal cu 366.2422 zile siderale, ce reprezintă numărul de rotaţii aparente efectuate de punctul vernal în mişcarea diurnă a sferei cereşti de-a lungul ecuatorului, în timpul unui an tropic.

Într-un an tropic, Soarele descrie o mişcare aparentă completă în sens direct (opus sensului mişcării diurne) pe ecliptică; rezultă că în acest interval de timp, Soarele execută o rotaţie aparentă diurnă pe sfera cerească mai puţin decât punctul vernal.

Prin urmare, *anul tropic este egal cu* ***365.2422*** *de zile solare adevărate*, ce reprezintă numărul de rotaţii aparente efectuate de Soare în mişcarea diurnă a sferei cereşti, în timpul unui an tropic.

2 Soarele mediu. Timpul mediu

Am văzut că ziua solară adevărată este un interval de timp variabil, impropriu folosirii ca unitate de măsură a timpului în viaţa cotidiană. Şi totuşi, cerinţele practice ale societăţii au impus găsirea unei soluţii pentru măsurarea timpului funcţie de mişcarea diurnă a Soarelui; soluţia găsită se bazează pe un artificiu.

S-a imaginat un astru fictiv, numit *Soare mediu, care se deplasează pe ecuatorul ceresc în sens direct, parcurgându-l cu o viteză uniformă în timpul unui an tropic, deci în acelaşi interval de timp necesar Soarelui adevărat în mişcarea sa aparentă pe ecliptică pentru a trece de două ori consecutiv prin punctul vernal.* Pentru a se face distincţie în modul de reprezentare, Soarele adevărat are simbolul ⊙, iar Soarele mediu – simbolul ⊕.

Timpul solar mediu sau *timpul mediu* este unghiul orar al Soarelui mediu; timpul mediu al locului se notează cu *tm*, iar timpul mediu la Greenwich cu *Tm*.

Timpul mediu are deci o variaţie uniformă, de aceea el se foloseşte ca timp civil în viaţa societăţii, fiind măsurat de la meridianul inferior al observatorului.

Ziua solară medie sau *ziua medie* este intervalul de timp *constant* dintre două culminaţii ale Soarelui mediu la meridianul inferior al observatorului; ziua medie se subdivide în unităţi de timp mediu: ore, minute şi secunde medii. Timpul mediu se măsoară cu ceasornicele obişnuite.

Faţă de definiţia dată Soarelui mediu, rezultă că *un an tropic =* ***365.2422*** *zile solare adevărate =* ***265.2422*** *zile solare medii.*

Mişcarea Soarelui mediu în sens direct pe ecuatorul ceresc fiind uniformă, creşterea zilnică a ascensiunii drepte a acestuia este constantă, fiind egală cu $3^m56^s.556$. În decursul unui an tropic, ascensiunea dreaptă a Soarelui mediu creşte uniform de la zero la 360°.

Deplasarea zilnică a Soarelui mediu pe ecuator în sens direct (opus mişcării diurne) cu $3^m56^s.556$, exprimată de creşterea zilnică a ascensiunii drepte, reprezintă retardaţia în intervalul de timp necesar acestuia ca să culmineze de două ori consecutiv la acelaşi meridian. De aceea, durata unei zile medii exprimată în timp sideral este de $24^h03^m56^s.556$.

Pentru ca cercurile orare ale Soarelui adevărat şi ale Soarelui mediu să nu se deplaseze prea mult, cu consecinţa unor diferenţe mari între timpul solar adevărat şi timpul mediu, la un moment dat, se consideră că cei doi aştri trec deodată prin acelaşi cerc orar, la 25 decembrie; următoarele date aproximative la care cei doi aştri se află simultan pe acelaşi cerc orar sunt: 16 aprilie, 14 iunie şi 1 septembrie, când timpul solar adevărat este egal deci cu timpul mediu.

3 Ecuaţia timpului

Într-o proiecţie a emisferei nordice pe ecuatorul ceresc (fig. 18-6) să reprezentăm cercurile orare ale Soarelui adevărat şi Soarelui mediu pentru un moment dat, să trasăm de asemenea măsura timpului solar adevărat al locului *ta*, a timpului mediu *tm* (pe care îl considerăm iniţial contat de la meridianul superior, în

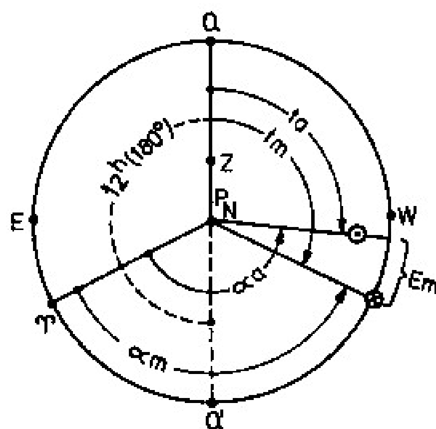


Fig. 18-6

scopul facilitării prezentării celor ce urmează), a ascensiunii drepte a Soarelui adevărat αa şi a ascensiunii drepte a Soarelui mediu αm.

Diferenţa dintre timpul mediu şi timpul solar adevărat (ambele contate ca timp astronomic) sau dintre ascensiunea dreaptă a Soarelui adevărat şi ascensiunea dreaptă a Soarelui mediu se numeşte *ecuaţia timpului* (Em); prin urmare, ecuaţia timpului este exprimată de relaţia:

$$Em = tm - ta = \alpha a - \alpha m \qquad (18\text{-}6)$$

Cu alte cuvinte, ecuaţia timpului este arcul de ecuator ceresc cuprins între cercul orar al Soarelui adevărat şi cel al Soarelui mediu, la un moment dat.

Curba care reprezintă variaţia ecuaţiei timpului (fig. 18-7) are aproximativ aceeaşi formă şi aceleaşi valori în fiecare an. Ecuaţia timpului trece prin valoarea zero către 16 aprilie, 14 iunie, 1 septembrie şi 25 decembrie, când Soarele adevărat şi Soarele mediu se află pe acelaşi cerc orar; maximele şi minimele au loc astfel:

– iarna .... + 14^m19^s, către 11 februarie;
– primăvara .... – 3^m45^s, către 15 mai;
– vara .... + 6^m26^s, către 26 iulie;
– toamna .... – 16^m23^s, către 3 noiembrie.

Ţinând seama de faptul că timpul mediu se contează de la meridianul inferior, relaţia pentru calculul ecuaţiei medii devine:

$$Em = (tm \pm 12^h)^* - ta = \alpha a - \alpha m \qquad (18\text{-}7)$$

Ecuaţia medie serveşte pentru transformarea timpului mediu în timp solar adevărat:

$$ta = (tm \pm 12^h) + Em \qquad (18\text{-}7')$$

* Se aplică semnul + sau – astfel ca timpul mediu să rezulte întotdeauna mai mic de 24^h.

respectiv:

$$Ta = (Tm \pm 12^h) + Em \qquad (18\text{-}7'')$$

pentru cazul când observatorul se află pe meridianul Greenwich.

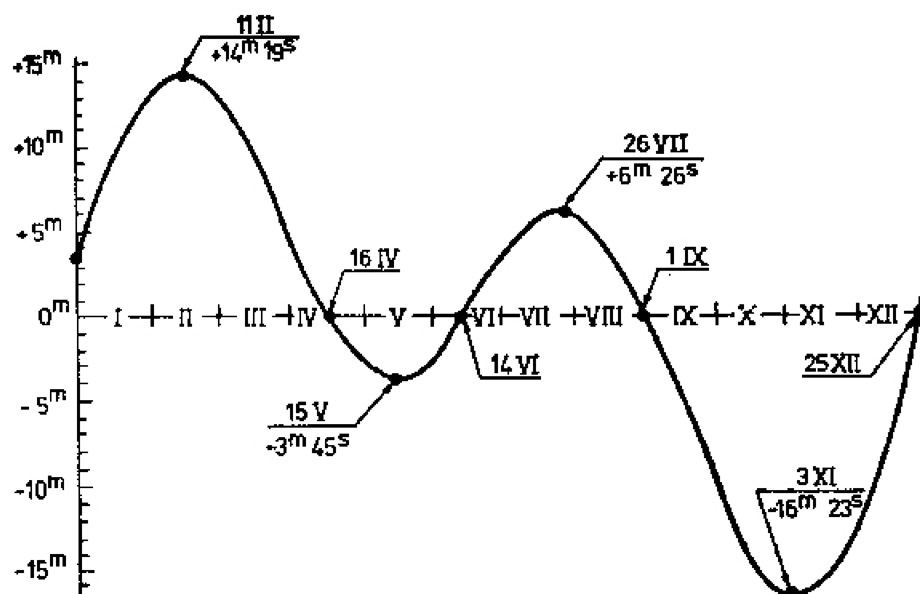


Fig. 18-7

§5 Timpul mediu în viaţa socială

1 Timpul fusului

Aşa cum am văzut la § 2, timpul unui astru la un moment dat este acelaşi pentru toţi observatorii situaţi pe acelaşi meridian. Diferenţa de timp mediu al locului la un moment dat pentru doi observatori situaţi pe meridiane diferite este egală cu diferenţa de longitudine (relaţia 18-1). La bordul unei nave, a cărei longitudine se schimbă continuu, timpul mediu al locului variază funcţie de diferenţa de longitudine realizată prin deplasarea navei.

Pentru a se da posibilitatea stabilirii de *relaţii în timp* între oameni, s-a adoptat un *sistem universal de fusuri orare.* Pământul a fost împărţit în 24 *fusuri orare,* delimitate de meridiane echidistante, cu o diferenţă de longitudine de 15° (= 1^h).

Fiecare fus orar are un *meridian central al fusului* sau *meridianul fusului,* de o longitudine multiplu de 15°, denumită *longituduinea fusului* (λf), începând cu *meridianul zero,* care este meridianul Greenwich. Deci longitudinile meridianelor fusurilor orare sunt 0°, 15°, 30°, ... 150°, 165°, 180° spre est şi vest (fig. 18-8); ştiind că 15° = 1^h, longitudinea fusului λf în ore (0^h, 1^h, 2^h ..., 10^h, 11^h, 12^h) exprimă *numărul de ordine al fusului orar,* 1, 2, 3, ..., 10, 11, 12, spre est sau vest.

Meridianele limită ale unui fus orar au o diferenţă de longitudine de $\frac{15^\circ}{2} = 7^\circ 30'$ faţă de *meridianul fusului,* spre est şi vest; de exemplu, fusul 4 estic, al cărui meridian al fusului este 60°30′ E, are meridianele limită 52°30′E şi 67°30′E.

Timpul fusului este unghiul orar al Soarelui mediu măsurat de la meridianul inferior al fusului; se notează cu *tf* şi se exprimă în ore, minute şi secunde de timp mediu. Toate locurile situate în interiorul fusului au acelaşi timp al fusului; de exemplu, toate locurile cuprinse între meridianele limită ale fusului 4 estic, 52°30′ E şi 67°30′ E, au acelaşi timp al fusului, egal cu timpul mediu la meridianul fusului 60°E.

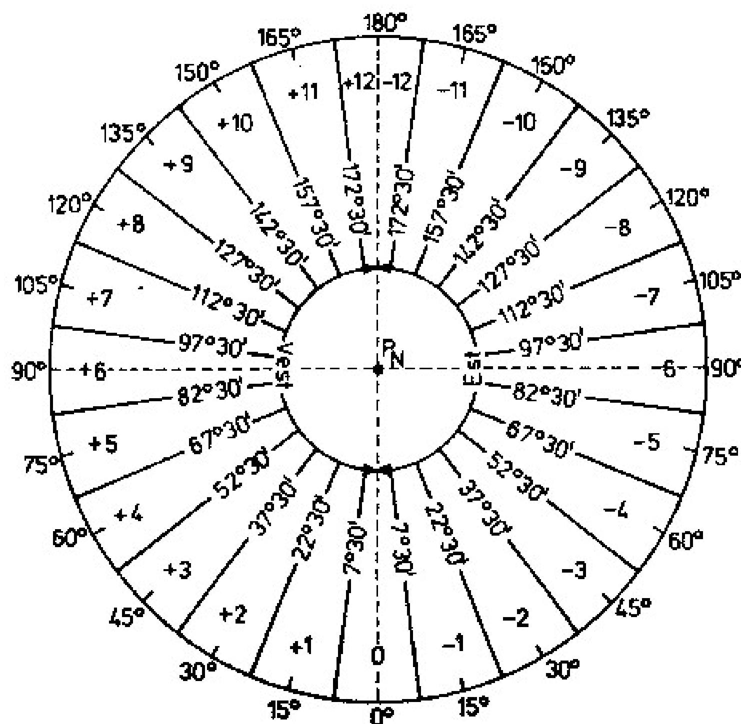


Fig. 18-8

Fusul zero are timpul fusului egal cu timpul mediu la Greenwich.

Fusurile estice au numerele de origine negative, − 1, − 2, ..., − 11, − 12, deoarece timpul acestor fusuri este *înainte* faţă de timpul mediu la Greenwich; pentru a afla timpul mediu la Greenwich corespunzător timpului unui anumit fus estic, se *scade* din acesta un număr întreg de ore egal cu numărul de ordine al fusului (respectiv egal cu λf în ore).

Dimpotrivă, fusurile vestice au numerele de ordine pozitive, + 1, + 2, ..., + 11, + 12, deoarece timpul acestor fusuri este *în urmă* faţă de timpul mediu la Greenwich; pentru a afla timpul mediu la Greenwich corespunzător timpului unui fus vestic, *se adaugă* acestuia un număr întreg de ore, egal cu numărul de ordine al fusului.

Fusul 12 este împărţit în două părţi, separate de meridianul 180°, numerotate astfel: − 12, delimitată de meridianele 172°30′ E şi 180°; + 12, având meridianele limită 172°30′ W şi 180°.

Din formula (18-2) se deduce că relaţia dintre timpul fusului şi timpul mediu la Greenwich este:

$$tf = T_m + \lambda f \qquad (18\text{-}8)$$

unde λf *reprezintă longitudinea meridianului fusului, în ore întregi, fiind egală cu numărul de ordine al fusului orar.*

În proiecția pe ecuatorul ceresc (fig. 18-9) reprezentăm cercul orar al Soarelui mediu, meridianul Greenwich, meridianul fusului de longitudine λf și meridianul unui loc Z din interiorul fusului respectiv, având numărul de ordine λf în ore.

Diferența dintre timpul fusului și timpul mediu la locului Z este exprimată de diferența de longitudine:

$$\Delta\lambda_f = \lambda f - \lambda$$

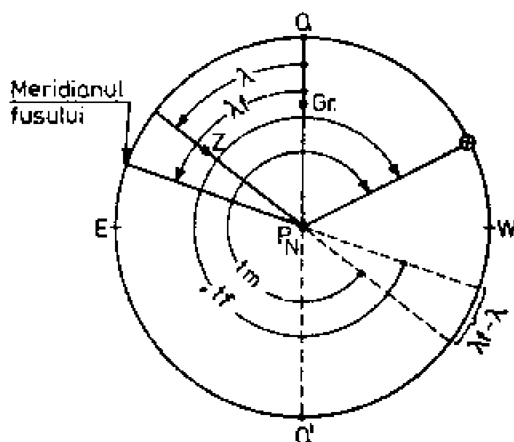


Fig. 18-9

Relația dintre timpul fusului și timpul mediu al locului este:

$$tf = tm + (\lambda f - \lambda) \qquad (18\text{-}9)$$

expresie care se rezolvă algebric.

2 Timpul legal

Pentru uniformizarea timpului din interiorul unei țări, acesta se stabilește prin lege și se numește *timp legal* sau *timp oficial*. De regulă, timpul legal adoptat într-un anumit stat este al acelui meridian al fusului ce ocupă pe cât posibil o poziție centrală față de diferența de longitudine a teritoriului respectiv sau o poziție apropiată. La noi în țară, timpul legal este timpul fusului – 2 (sau 2 estic), meridianul fusului fiind cel de longitudine 30°E.

În unele state este reglementată schimbarea timpului legal în perioada de vară, de obicei cu 60^m sau 30^m, denumit timp *de vară*.

Lista cu *timpul legal* în diferite state este publicată anual în *Brown's Nautical Almanac*, intitulată *„Standard times"*.

3 Ora bordului

Întreaga activitate pe navă se desfășoară după ora bordului, indicată de ceasurile de la bord.

În navigația între porturile cu aceeași oră legală, ora bordului se menține egală cu ora legală; excepție face ceasul de la stația de radiotelegrafie, care se reglează și se menține după timpul mediu la Greenwich, indiferent de poziția navei, deoarece întregul program al radiocomunicațiilor maritime este reglementat funcție de acest timp.

În navigația pe distanțe mici, între porturi apropiate dar cu ore legale diferite, ora bordului se menține până la apropierea de portul de destinație, când ceasurile de la bord se reglează după ora legală a portului respectiv.

Pe timpul navigației de cursă lungă, între porturi cu o mare diferență de longitudine, ora bordului* se schimbă funcție de timpul fusului în care se află nava, în scopul de a o menține la diferențe de ore întregi față de timpul mediu la Greenwich și timpul legal al statelor din zonă, măsură importantă îndeosebi pentru traficul radio.

În cazul schimbării orei bordului la intrarea într-un fus nou, diferența de 1^h se împarte în mod egal între cele trei carturi, astfel:

– când nava se deplasează spre est și ceasurile se pun înainte cu 1^h, schimbarea orei bordului se face la ora 20.00 (la intrarea în serviciu cartului 20–24) și se scurtează durata fiecărui cart de noapte cu câte 20^m;

– când nava se deplasează spre vest și ceasurile se dau *înapoi* cu 1^h, schimbarea orei bordului se face la ora 08.00 (la intrarea în serviciu a cartului 8–12) și se prelungește durata fiecărui cart de zi cu câte 20^m.

4 Linia de schimbare a datei

Ziua medie începe la culminația inferioară a Soarelui *mediu* și se termină după 24 ore, la revenirea în același meridian.

Când Soarele mediu se află la culminația superioară a meridianului Greenwich, deci $Tm = 12^h$ a unei zile oarecare, toate locurile de pe suprafața Pământului au aceeași dată; în acest caz, pe partea estică a meridianului 180° (fusul – 12) este ora 24^h, iar pe partea vestică a acestuia (fusul + 12) este ora 0^h, a aceleiași date.

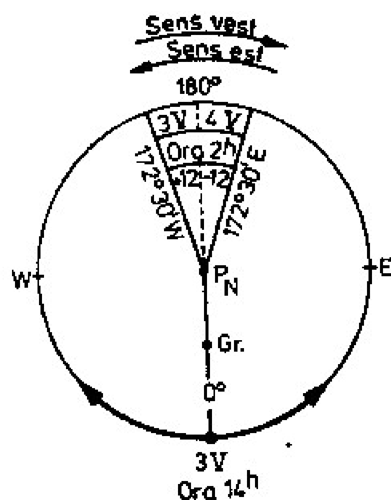


Fig. 18-10

În toate celelalte cazuri, data pe cele două părți ale meridianului 180° este diferită cu o zi, deși ora este aceeași în întreg fusul 12. Astfel, considerăm data de 3 mai ora 14^h la meridianul Greenwich (18-10). În același moment, fusul 12 are ora 2^h

* În trecut și chiar în prezent, la un număr tot mai redus de nave, se practică sistemul reglării zilnice a ceasurilor de la bord funcție de timpul mediu din momentul culminației Soarelui. Sistemul este incomod, motiv pentru care se abandonează treptat.

pe ambele părţi ale meridianului 180° (fusul + 12) data este 3 mai, iar în cea estică (fusul – 12) este 4 mai, deci diferită cu o zi în plus.

Prin urmare, *meridianul 180° constituie linia de schimbare a datei: la est de meridianul 180°* (fusul – 12) *data este mai mare cu o zi faţă de cea de pe partea vestică* (fusul + 12); ora întregului fus 12 (delimitată de meridianele 172°30′ est şi vest) se menţine aceeaşi. De aici rezultă că *o navă care trece meridianul 180° menţine ora, dar trebuie să schimbe data cu o unitate,** astfel:

– dacă nava merge *spre est* (se trece din emisfera estică în cea vestică), *se scade* o zi la dată;

– dacă nava merge *spre vest* (se trece din emisfera vestică în cea estică), *se adaugă* o zi la dată.

Schimbarea datei la bordul navelor se face la trecerea meridianului 180°. Pentru teritoriile şi insulele din zonă s-a adoptat o *linie internaţională de schimbare a datei,* indicată în harta *„The date line"* conţinută în *„Brown's Nautical Almanac"*.

§6 Cronometrul

Cronometrul de navigaţie serveşte la bord în principal la determinarea precisă a timpului mediu la Greenwich *Tm* pentru momentul executării observaţiilor astronomice, în funcţie de care sunt exprimate coordonatele ecuatoriale ale aştrilor în efemeridele nautice. De asemenea, cronometrele sunt folosite pentru controlul şi reglarea ceasurilor de la bord, precum şi la rezolvarea oricărei probleme de navigaţie care impune măsurarea precisă a timpului.

Calculele de timp în rezolvarea problemelor de poziţie ale navigaţiei astronomice se efectuează la precizie de 0.1^s.

La bordul navelor maritime de cursă lungă** se găsesc două cronometre, care se denumesc cu literele *A* şi *B*.

---

* *Antonio Pigaffeta,* autorul *jurnalului de bord* al primei călătorii în jurul lumii, se afla la bordul corabiei VICTORIA, de sub comanda lui Sebastian del Cano, între cei 30 de supravieţuitori ai expediţiei lui Magellan, când în 1522 fundarisea ancora la sosirea în Insulele Capului Verde. Mare a fost surprinderea lui Pigaffeta, secretarul conştiincios şi credincios al lui Magellan, când a constatat că data jurnalului de bord al expediţiei avea *o zi mai puţin* decât data localnicilor; procesul de conştiinţă pe care şi-l făcea pentru o asemenea neglijenţă, îi ducea cu gândul înapoi spre una din zilele de foamete cumplită îndurată datorită lipsei de *„vânt în vele"* la traversarea *„pacificului ocean"*, când era convins că a omis scrierea jurnalului.

Posteritatea avea însă să reabiliteze după scurt timp pe Pigaffeta în faţa istoriei şi a memoriei Amiralului: *mergând mereu spre vest, la trecerea meridianului 180° nu se adăugase o zi la dată,* lecţie care nu se cunoştea încă în acea vreme. Chiar în zilele de foamete letargică, el continuase deci să-şi facă conştiincios datoria.

** Potrivit *Regulilor Registrului Naval Român,* navele maritime cu *zonă de navigaţie nelimitată* şi *limitată I* trebuie să fie dotate cu două cronometre; cele cu *zona de navigaţie limitată II* sunt obligate să aibă la bord un cronometru.

1 Starea absolută a cronometrului

Starea absolută a cronometrului este diferența dintre timpul mediu la Greenwich *Tm* și ora *A* a cronometrului, la un moment dat; se determină după relația:

$$Tm - A \qquad (18\text{-}10)$$

care se rezolvă algebric. Starea absolută este deci pozitivă, dacă $Tm < A$ și negativă, când $Tm < A$.

Starea absolută este folosită în navigația astronomică pentru determinarea timpului la Greenwich din citirea *A* a cronometrului pentru momentul observației:

$$Tm = A + (Tm - A) \qquad (18\text{-}11)$$

Starea absolută a unui cronometru se determină cu ajutorul *semnalelor orare radio* sau prin comparație cu un cronometru a cărui stare absolută este cunoscută.

Determinarea stării absolute a cronometrului cu semnale orare radio. Semnalele orare radio destinate navigatorilor sunt emise de observatoare astronomice, prin dispozitive automate, în cele mai multe cazuri pe mai multe lungimi de undă (lungi și scurte), simultan. Semnalele automate radio au o precizie în jur de 1/20 de secundă. Lista stațiilor care emit semnale orare, cu toate caracteristicile de emisie, sunt conținute în *Radio Signal* vol. V.

Prin reguli de registru este prevăzută obligativitatea asigurării posibilității recepționării semnalelor orare (prin căști) la caseta unde se păstrează cronometrele, în camera hărților.

Semnalul orar radio indică o anumită oră a timpului mediu la Greenwich; în clipa recepționării semnalului orar se citește ora cronometrului în ordinea: secunde, minute, ore. Starea absolută se obține din informația dintre timpul mediu la Greenwich, indicat prin semnalul orar și ora cronometrului, citită simultan cu acesta.

Exemplu. În ziua de 3 iulie 1973 la $Tm = 4^h$, în momentul recepției semnalului orar radio s-au citit cronometrele bordului:

$A = 4^h08^m24^s$ și $B = 3^h50^m32^s$

Se cere starea absolută a cronometrelor.

Rezolvare:

Calculul lui $(Tm - A)$	Calculul lui $(Tm - B)$
$Tm = 4^h$	$Tm = 4^h$
$-A = 4^h08^m24^s$	$-B = 3^h50^m32^s$
$(Tm - A) = -08^m24^s$	$(Tm - B) = +09^m28$ … pt. $Tm = 4^h/3$ VII

Determinarea stării absolute prin comparație cu un cronometru a cărui stare absolută este cunoscută. Considerăm: *A*, cronometrul a cărui stare absolută este cunoscută; *B*, cronometrul a cărui stare absolută trebuie determinată.

Pentru determinarea stării absolute a cronometrului *B* se procedează astfel:

- doi observatori citesc simultan orele cronometrelor *A* și *B*;
- se face comparația $(B - A)$;
- se scade algebric $(B - A)$ *din* $(Tm - A)$ și se obține $(Tm - B)$.

Exemplu. Se cunoaşte $(Tm - A) = -0^h05^m32^s$, pentru momentul comparaţiei. Doi observatori citesc simultan cronometrele A şi B: $B = 10^h$ şi $A = 8^h05^m30^s$. Se cere starea absolută a cronometrului B.

Rezolvare:

a – Comparaţia (B – A):	*b – Calculul lui (Tm – B):*
$B = 10^h00^m00^s$	$(Tm - A) = -0^h05^m32^h$
$-A = 8^h05^m30^s$	$-(B - A) = +1^h54^m30^s$
$(B - A) = +1^h54^m30^s$	$(Tm - B) = -2^h00^m02^s$

Starea absolută a cronometrului astfel determinată este pentru momentul comparaţiei; timpul mediu de la Greenwich pentru momentul comparaţiei, căruia îi corespunde deci starea absolută respectivă este: $Tm = B + (Tm - B)$.

2 Marşa diurnă

Marşa diurnă reprezintă variaţia zilnică în mersul cronometrului, deci cantitatea de timp cu care cronometrul merge înainte sau rămâne în urmă în 24^h; *indiciul unui mers precis al cronometrului este constituit de o marşe diurnă constantă.*

Marşa diurnă este folosită pentru calculul stării absolute a cronometrului pentru momentul unei observaţii, din ultima stare absolută determinată.

Marşa diurnă K se calculează făcând diferenţa algebrică între două stări absolut determinate la un interval de timp de 24^h.

Exemplu. În ziua de 15 aprilie la $Tm = 0^h$ s-a determinat $(Tm - A)_1 = -04^m10^s.5$. În ziua de 16 aprilie la $Tm = 0^h$ s-a determinat $(Tm - A)_2 = -04^m09^s$. Se cere marşa diurnă K a cronometrului A.

Rezolvare:

$$\begin{array}{rl} (Tm - A)_2 = & -04^h09^s \\ -(Tm - A)_1 = & -04\ 10.5 \\ \hline K_A = & +1^s.5 \end{array}$$

Marşa diurnă medie Km se calculează făcând diferenţa algebrică dintre două stări absolute determinate la un nivel de n zile şi împărţind diferenţa la n (la precizie de 0.1 de zi):

$$Km = \frac{(Tm - A)_2 - (Tm - A_1)}{n} \tag{18-12}$$

Marşa diurnă rezultă *pozitivă,* când cronometrul *rămâne în urmă* sau *negativă,* dacă *merge înainte.*

Metoda marşei diurne medii trebuie preferată, deoarece procedând astfel se elimină erorile accidentale în mersul cronometrului; marşa diurnă determinată la 24^h conţine toate aceste erori.

Exemplu. În ziua de 15 aprilie la $Tm = 0^h$ s-a determinat $(Tm - A)_1 = -1^h04^m10^s.5$. În ziua de 26 aprilie la $Tm = 0^h$ s-a determinat $(Tm - A)_2 = -1^h04^m00^s.5$. Se cere marşa diurnă medie.

Rezolvare:

$$\begin{array}{ll} (Tm-A)_2 = -1^h04^m00^s.5 & \text{pt. } Tm = 0^h/26 \text{ IV} \\ -(Tm-A)_1 = -1\ 04\ 10\ .5 & \text{pt. } Tm = 0^h/15 \text{ IV} \\ \hline 11\ K_A = \quad +10^s & \text{pt. } \Delta Tm = 11 \text{ zile} \end{array}$$

$$Km = \frac{+10^s}{11} = +0^s.9$$

Starea absolută şi marşa diurnă se înscriu în *registrul cronometrelor*, în care se menţionează: data, punctul şi staţia de la care s-a recepţionat semnalul orar.

În cazul în care starea absolută se determină la ore ale zilei, este indicat ca aceasta să fie redusă pentru un anumit moment şi astfel înscrisă în registru; din motive de ordin practic, se recomandă ca starea absolută să fie înscrisă în registrul cronometrelor pentru $Tm = 0^h$.

Considerând că Δh reprezintă diferenţa, în ore, dintre momentul pentru care se cunoaşte starea absolută a cronometrului şi un alt moment oarecare (pentru care trebuie să se facă înscrierea în registru, momentul unei observaţii etc.), calculul stării absolute pentru acest moment se efectuează astfel:

– se adună algebric $\Delta k = Km\dfrac{\Delta h}{24}$ la ultima stare absolută a cronometrului, dacă momentul respectiv este posterior celui pentru care este cunoscută starea absolută;

– se scade algebric $\Delta k = Km\dfrac{\Delta h}{24}$, în cazul în care momentul respectiv este anterior.

Exemplu. În ziua de 28 iulie, $Tm = 12^h$ s-a citit $A = 11^h57^m14^s$; în ziua de 5 august, $Tm = 19^h$ ... $A = 18^h57^m43^s$.

Se cere:

– marşa diurnă medie;

– starea absolută care urmează a fi înscrisă în registrul cronometrului pentru $Tm = 0^h$ din din 5 august;

– starea absolută ce ar urma să fie înscrisă în registrul cronometrului, dacă această operaţie s-ar face pentru $Tm = 0^h$ din 6 august.

Rezolvare:

a – Calculul marşei diurne medii:

$$\begin{array}{ll} (Tm-A)_2 = +02^m17^s & \text{pt. } Tm = 19^h/5 \text{ VIII} \\ -(Tm-A)_1 = +02\ 46 & \text{pt. } Tm = 12^h/28 \text{ VII} \\ \hline 8.3\ K_A = \quad -29^s & \Delta Tm = 8^d7^h = 8^d.3 \end{array}$$

$$Km = \frac{-29^s}{8.3} = -3^s.5$$

b – Calculul stării absolute pentru $Tm = 0^h$ din 5 august:

$$\begin{array}{ll} (Tm-A) = +02^m17^s & \text{pentru } Tm = 19^h/5 \text{ VIII} \\ -\Delta K_A = -3.5^s \times \dfrac{19}{24} = -2.8 & \\ \hline (Tm-A) = +02^m19^s.8 & \text{pentru } Tm = 0^h/5 \text{ VIII} \end{array}$$

c – Calculul stării absolute pentru $Tm = 0^h$ din 6 august:

$(Tm - A) = +02^m17^s$ .... pentru $Tm = 19^h/5$ VIII

$+\Delta K_A = -3.5^s \times \frac{5}{24} = -0.7$

$(Tm - A) = +02^m16^s.3$ .... pentru $Tm = 0^h/6$ VIII

3 Calculul timpului mediu la Greenwich pentru un moment dat

Timpul mediu la Greenwich pentru momentul unei observații astronomice se obține din relația (18 – 11) : $Tm = A + (Tm - A)$; A reprezintă citirea cronometrului în momentul observației, iar $(Tm - A)$ – *starea absolută pentru același moment.*

Starea absolută pentru momentul observației se obține adunând algebric $\Delta K = K_m \frac{\Delta h}{24}$ la cea înscrisă în registrul cronometrului pentru $Tm = 0^h$ din ziua respectivă. Dacă în ziua observației nu s-a determinat starea absolută, $(Tm - A)$ pentru momentul observației se obține astfel:

$$(Tm - A) = (Tm - A)_0 + n.Km + \Delta k \qquad (18\text{-}13)$$

unde: $(Tm - A)_0$ = ultima stare absolută înscrisă în registru pentru $Tm = 0^h$; n = numărul de zile dintre data ultimei înregistrări a stării absolute și cea a observației; Km = marșa diurnă medie; $\Delta K = K_m \frac{\Delta h}{24}$.

Exemplu. În ziua de 8 august la $A = 8^h02^m12^s$ se execută o observație la un astru. Ultima stare absolută înscrisă în registrul cronometrului și marșa diurnă medie sunt cele din exemplul de mai sus:

$$(Tm - A) = +02^m16^s.3 \text{ pentru } Tm = 0^h/6 \text{ VIII}$$

$$Km = -3^s.5$$

Se cere starea absolută și timpul mediu la Greenwich pentru momentul observației.

Rezolvare:

a – Calculul stării absolute pentru momentul observației:

$(Tm - A)_0 = +02^m16^s.3$ .... pt. $Tm = 0^h/6$ VIII

$n.Km = 2 \times (-3^s.4) = -\quad 07.0$

$+\Delta K = -3^s.5 \frac{8h}{24} = -\quad 01.2$

$(Tm - A) = +02^m08^s.1$ .... pt. momentul observației;

b – Calculul lui Tm:

$A = 8^h02^m12^s$

$+(Tm - A) = +02\ 08.1$

$Tm = 8^h04^m20^s.1$ din 8 VIII

4 Întreținerea cronometrului la bord

Cronometrul cu cutia lui se instalează într-un cheson special, ferit de vibrații puternice, variații mari de temperatură, umiditate și câmpuri magnetice intense, având o axă cardanică orientată longitudinal și cea de-a doua transversal.

La bordul navelor de cursă lungă sunt necesare două cronometre, pentru a putea fi comparate între ele și, în caz de defectare a unuia, al doilea să constituie o rezervă.

Cronometrele se întorc în fiecare zi la aceeași oră, la care de obicei se determină și starea absolută, de către aceeași persoană.

Pe timpul navigației, starea absolută se determină zilnic și se înscrie în registrul cronometrelor pentru $Tm = 0^h$; pe durata staționării în porturi, starea absolută se determină la intervale de cinci zile, din care se calculează marșa diurnă medie.

În cazul opririi cronometrului ca urmare a neîntoarcerii lui (în caz de deratizare a navei etc.), pentru repunere în funcțiune se procedează astfel:

– se întoarce cronometrul în mod normal, până când indicatorul respectiv ajunge la zero;

– se fixează suspensia cardanică;

– se ia cutia cronometrului în ambele mâini, astfel ca aceasta să se mențină în poziție orizontală și i se imprimă o ușoară mișcare de rotație (în plan orizontal), pentru ca balansierul să fie scos din poziția de repaus;

– după ce cronometrul a început să funcționeze normal, se reintroduce în chesonul lui și se deblochează suspensia cardanică.

Cronometrele se pun în mers la o oră cât mai apropiată de timpul mediu la Greenwich, din motive de comoditate a calculelor.

Reglarea și repararea cronometrelor se fac de către specialiști autorizați pentru asemenea operațiuni.

Transportul unui cronometru se efectuează în următoarele condiții: se imobilizează suspensia; se introduce cronometrul în cutia specială prevăzută cu perne pentru fixare și o curea de care se ține pe timpul transportului; sunt interzise mișcările bruște de rotație și izbiturile.

§7 Contoare de observație

Când se execută o observație astronomică ce impune citirea orei cronometrului; de exemplu, la măsurarea înălțimii unui astru cu sextantul, se procedează astfel: observatorul cu sextantul anunță „atențiune!" pentru preavizare și „stop!" în momentul măsurării înălțimii; la „stop!", un al doilea observator – la cronometru, citește cu precizie ora în ordinea: secunde, minute, ore.

Sunt situații însă când observațiile se execută la distanță mare de cronometru sau la bordul navelor comerciale, când nu este disponibil în acel moment un al doilea observator pentru citirea cronometrului. În aceste cazuri, se folosesc *contoare de observație,* ceasuri de mare precizie, de forma celor de buzunar, care se deplasează la locul observației pentru citirea orei; ora contorului pentru momentul observației se notează cu O.

După efectuarea observației, se execută comparația cronometru – contor *(A – O);* ora cronometrului pentru momentul observației se obține din ora *O* a contorului pentru momentul observației și comparația cronometru – contor:

$$A = O + (A - O) \qquad (18\text{-}14)$$

relație care se rezolvă algebric.

În lipsa unui asemenea contor de observație, se folosesc cu bune rezultate ***stopere*** („secundometre“) obișnuite: la pregătirea executării observației, stoperul se oprește și se pune la zero; în momentul observației, stoperul se declanșează; se citește apoi ora A a cronometrului la un moment dat și, simultan, se oprește stoperul. Ora A_0 a cronometrului pentru momentul observației se obține: $A_0 = A - \Delta t$, unde Δt este intervalul de timp înregistrat la stoper între momentul observației și cel al citirii A a cronometrului.

De regulă, contoarele și stoperele permit citirea timpului la precizie de 0.2 secunde.

19 CALCULUL UNGHIULUI LA POL, AL DECLINAȚIEI ȘI AL OREI CULMINAȚIEI AȘTRILOR

§1 Efemerida nautică

Efemerida nautică este documentul nautic de bază folosit în navigația astronomică; ea conține coordonatele ecuatoriale ale aștrilor și o serie de alte informații privitoare la aștri, necesare pentru determinarea poziției navei cu observații astronomice, precum și la rezolvarea altor probleme ajutătoare de navigație. Efemeridele nautice sunt publicații anuale, editate în principalele state maritime pentru uzul navigatorilor. Relațiile de calcul pentru rezolvarea problemelor cu diferitele efemeride sunt aceleași, necesitând doar din partea navigatorului să se acomodeze cu notațiile și simbolurile specifice folosite în fiecare efemeridă în parte.

La bordul navelor noastre maritime comerciale se folosește efemerida nautică conținută în „Brown's Nautical Almanac" (denumită în continuare BNA). Utilizarea acestui almanah, ce poate fi procurat cu ușurință în majoritatea porturilor lumii, prezintă marele avantaj că pe lângă efemeride, el conține o serie de alte tabele utile în conducerea și exploatarea navei *(table de maree* pentru porturile lumii, tabele de navigație, table folositoare la rezolvarea problemelor de încărcare a navei etc.), informații privitoare la faruri și balizaj, la pilotaj, drumuri recomandate și distanțe etc.; el conține de asemenea un îndrumar de valoare practică la bord în aplicarea anumitor sisteme de navigație sau privitoare la încărcarea și stivuirea mărfurilor, tratarea diferitelor cazuri de litigii maritime, salvări, proteste de mare, explicarea terminologiei de hidrometeorologie nautică, descrierea curenților de maree etc.

Asupra modului de utilizare a diferitelor părți ale BNA vom reveni în cele ce urmează, pe măsură ce va apare necesar.

Efemerida nautică din BNA cuprinde următoarele părți principale:

– *tablele zilnice* (al căror conținut se redă mai jos);

– *tablele de creșteri și corecții („Increments and corrections");*

– *tablele cu coordonatele ecuatoriale* (unghiul τ și declinația) a 172 stele, redate pe luni;

– *tablele pentru calculul latitudinii din înălțimea stelei Polare și a azimutului.*

Calculul unghiului la pol, declinației și al orei culminației aștrilor se rezolvă prin utilizarea tablelor zilnice ale efemeridei.

Conținutul tablelor zilnice ale efemeridei BNA. Tablele zilnice sunt redate pe grupuri de trei zile consecutive; pentru facilitarea înțelegerii modului de utilizare a lor se redau în *Anexa II* – tablele zilelor 9, 10 și 11 noiembrie 1973 („1973 November 9, 10, 11 (Fri., Sat., Sun.)".

Notațiile utilizate în tablele zilnice sunt următoarele:

– G.M.T. *(„Greenwich Mean Time“)* = timpul mediu la Greenwich, *Tm;*

– G.H.A. *(„Greenwich Hour Angle“)* = unghiul orar la Greenwich T al unui astru;

– S.H.A. *(„Sidereal Hour Angle“)* = unghiul $\tau = 360° - \alpha$ al unui astru;

– Dec. *(„Declination“)* = declinația astrului δ;

– L.H.A. *(Local Hour Angle“)* = unghiul orar t al unui astru la meridianul locului;

– Mer. Pass. *(„Meridian Passage“)* = ora culminației astrului la meridianul Greenwich;

– Eqn. of Time *(„Equation of Time“)* = ecuația timpului, *Em;*

– d este variația orară a declinației astrului redată în partea de jos a tablelor.

Pe pagina din stânga (Anexa *II A*) sunt exprimate coordonatele ecuatoriale ale punctului vernal *(„Aries“)*, ale celor patru planete folosite în navigație *(Venus, Mars, Jupiter, Saturn)* și a 57 stele *(„stars“)* principale; de asemenea, mai conține ora culminației la Greenwich a punctului vernal exprimată în timp mediu *(„Mer. Pass.“* – în partea de jos a coloanei „Aries“) și a celor patru planete (în partea de jos a coloanei din dreapta).

În anexa *II B* sunt redate coordonatele ecuatoriale (unghiul orar la Greenwich, T și declinația, δ) a Soarelui *(„Sun“)* și a Lunii *(„Moon“);* partea din dreapta – jos a paginii conține: ecuația timpului *(„Eqn. of time“)*, ora culminației Soarelui *(„Sun-Mer. Pass.“)*, ora culminației superioare a Lunii *(„Moon-Upper-Mer. Pass.“)*, ora culminației inferioare a Lunii *(„Moon-Lower-Mer. Pass.“)*, vârsta Lunii *(„Moon-Age“)* și faza Lunii *(„Moon-Phase“)* – redată cu simbolurile obișnuite. De asemenea, în partea din dreapta conține datele necesare calculului orei răsăritului și apusului Soarelui și Lunii, precum și a începutului crepusculului, a căror utilizare se explică la capitolul 24.

Coordonatele aștrilor sistemului solar și ale punctului vernal din tablele zilnice sunt exprimate funcție de data și timpul mediu la Greenwich, din oră în oră, redate pe coloana din stânga „G.M.T.“ a fiecărei pagini. Valoarea coordonatelor stelelor principale conținute în tablele zilnice este aceeași pentru toate cele trei zile; de altfel, având la îndemână o efemeridă, se constată că coordonatele stelelor au variații lente la intervale de ordinul lunilor.

§2 Calculul unghiului la pol și al declinației Soarelui, planetelor și Lunii

1 Relații de calcul

Tablele zilnice ale efemeridelor nautice conțin unghiul orar la Greenwich. T și declinația δ a Soarelui, planetelor și a Lunii, în funcție de *dată și timpul mediu la Greenwich Tm,* din oră în oră, redate pe coloana din stânga „G.M.T.“ Citirea acestor coordonate din tabla zilei se face funcție de timpul mediu la Greenwich, la precizie de ore întregi, imediat inferior celui pentru momentul observației; corecțiile coordonatelor ΔT și $\Delta\delta$ pentru diferența de timp mediu la Greenwich ΔTm, față de cel pentru momentul observației, se determină din tablele *„Increments and corrections“*, în modul indicat mai jos – separat pentru Soare, planete și Lună.

Timpul mediu la Greenwich Tm pentru momentul observației se calculează din relația (18-11): $Tm = A + (Tm - A)$.

Data la Greenwich pentru momentul observației față de data locului se stabilește astfel:

– dacă suma $A + (Tm - A) < 24^h$, data la Greenwich se menține egală cu data locului;

– dacă suma $A + (Tm - A) > 24^h$, se scad 24^h și se adaugă o zi la data locului, obținându-se astfel data observației la Greenwich;

– dacă suma $A + (Tm - A)$ rezultă negativă, se adună 24^h, se scade o zi la data locului și se obține data observației la Greenwich.

Unghiul orar la Greenwich T al astrului se transformă în unghi orar t la meridianul locului din relația (18-2): $t = T + \lambda$, care se rezolvă algebric funcție de semnul longitudinii observatorului.

Unghiul orar t al astrului la meridianul locului se transformă în unghi la pol din relațiile (15-4):

– dacă $t < 180° \ldots P_W = t$

– dacă $t > 180° \ldots P_E = 360° - t$.

Calculul unghiului la pol și al declinației se efectuează la precizie de 0'.1.

2 Calculul unghiului la pol și al declinației Soarelui

Exemplu. În ziua de 10.11.1973, în punctul $\varphi = 33°37'$ N; $\lambda = 28°30'$ E la $A = 15^h24^m40^s$ se face o observație la Soare; $(Tm - A) = -14^m25^s$. Se cere P și δ pentru momentul observației.

Rezolvare (fig. 19-1):

$A = 15^h24^m40^s$

$+(Tm - A) = -14^m25^s$

$Tm = 15^h10^m15^s$ din 10.11.73

10.11 pentru $Tm = 15^h$. ...	$Ta = 49°00'.7\ldots$	$\delta = S\ 17°13'.1$ ($d = +0.7$)
Variația pt. $\Delta Tm = 10^m15^s\ldots$	$\Delta Ta = 2°33.8$	$\Delta\delta = +\ 0.1$
10.11 pentru $Tm = 15^h10^m15^s$	$Ta = 5134.5$	$\delta = S\ 17°13'.2$
	$+\lambda = +28\ 30.0$	
	$Ta = 80°04'.5 = P_W$	

Privitor la rezolvarea problemei, sunt de făcut următoarele precizări:

$\Delta Tm = 10^m15^s$ reprezintă diferența dintre timpul mediu la Greenwich pentru momentul observației ($Tm = 15^h10^m15^s$) și cel imediat inferior ($Tm = 15^h$), pentru care s-a făcut intrarea în tabla zilei;

$\Delta Ta = 2°33'.8$ reprezintă creșterea unghiului orar la Greenwich al Soarelui corespunzătoare diferenței de timp mediu la Greenwich $\Delta Tm = 10^m15^s$, care se obține din tablele de corecții *„Increments and Corrections"*, redată în BNA în continuarea tablelor zilnice. Acestea constau din 60 table, pentru $1^m, 2^m, \ldots, 60^m$; în exemplul nostru rezolvat știind că $\Delta Tm = 10^m15^s$, se intră în *tabla 10^m* pe linia 15^s și se citește în coloana *„Sun"* (Soare) ...$\Delta Ta = 2°33'.8$;

– d este variația orară a declinației Soarelui din ziua observației; se citește în partea de jos a coloanei *„Sun"*. *Semnul pozitiv sau negativ al acestei variații are*

semnificația de creștere sau descreștere a declinației Soarelui în valoare absolută, care se stabilește prin compararea a două mărimi consecutive a acestei coordonate, corespunzătoare timpului mediu la Greenwich imediat inferior și imediat superior celui pentru momentul observației. În exemplul dat, *d* are semnul plus, deoarece succesiunea valorilor declinației este $\delta = S\ 17°13'.1$ pentru $Tm = 15^h$ și

Fig. 19-1

$\delta = S\ 17°13'.8$ pentru $Tm = 16^h$; declinația *crește* deci în valoare absolută. Corecția $\Delta\delta$ a declinației Soarelui funcție de $\Delta Tm = 10^m15^s$ se obține din *„Increments and corrections" – tabla 10ᵐ, pe coloana d,* în dreptul valorii 0'.7 (= *d,* în cazul rezolvat) și se citește corecția $\Delta\delta = 0'.1$ pe coloana „Corrⁿ".

3 Calculul unghiului la pol și al declinației planetelor

În efemerida nautică BNA variația orară a timpului planetelor se consideră 15°, egală cu cea a Soarelui; de aceea, variația ΔT a unei planete funcție de un interval de timp mediu ΔTm este conținută în tablele de corecții *„Increments and corrections"* pe o coloană comună, *„Sun – Planets"* (Soare – Planete).

În partea de jos a coloanei „G.H.A." a fiecărei planete este indicată o *mărime v; aceasta reprezintă diferența dintre variația orară reală a timpului planetei respective și 15°.*

De exemplu, în ziua de 11.11.1973 la $Tm = 22^h$ planeta Jupiter are unghiul orar la Greenwich $T = 72°59'.2$; în aceeași zi la $Tm = 23^h$, aceeași planetă are $T = 88°01'.3$. Deci variația orară a timpului planetei $\Delta T = 88°01'.3 - 72°59'.2 = 15°02'.1$; în acest caz, variația $v = 15°02'.1 - 15° = 2'.1$, fiind redată în tabla zilei de 11.11.73 a planetei Jupiter.

Variația *v* are întotdeauna semn pozitiv pentru planetele Marte, Jupiter și Saturn; în cazul lui Venus, variația *v* poate să fie și negativă, în perioadele unei mișcări aparente proprii în sens retrograd de sfera cerească mai pronunțate, fiind o planetă inferioară; în aceste situații, semnul negativ este menționat în efemeridă.

Rezultă că în cazul planetelor, unghiului orar la Greenwich trebuie să i se aplice o corecție suplimentară $\Delta_2 T$ funcție de ΔTm și *v,* care se obține din tablele *„Increments and corrections".*

Semnificația diferenței d și a corecției $\Delta\delta$ pentru calculul declinației planetelor este aceeași ca și în cazul Soarelui.

Exemplu. În ziua de 11.11.1973 în punctul $\varphi = 11°26'$ N; $\lambda = 15°02'$ W la $A = 22^h12^m50^s$ se face o observație la Jupiter; $(Tm - A) = +\ 7^m20^s$. Se cer unghiul la pol și declinația planetei Jupiter în momentul observației.

Rezolvare (fig. 19-2):

$A = 22^h12^m50^s$		
$+(Tm - A) = \ +07\ 20$		
$Tm = 22^h20^m10^s$ din 11.11.73		
11.11. pentru $Tm = 22^h$ ...	$T = \ 72°59'.2(v = 2'.1)$ ...	$\delta = S\ 19°39'.4(d = 0')$
variația pt. $\Delta Tm = 20^m10^s$ ...	$\Delta_1 T = \ 5\ 02.5$	... $\Delta\delta = 0.0$
corecția pt. ΔTm și v ...	$\Delta_2 T = \ 0.7$	
11.11 pt. $Tm = 22^h20^m10^s$	$T = \ 78\ 02.4$	... $\delta = S\ 19°39'.4$
	$+\lambda = -31\ 20.0$	
	$t = \ 46°42'.4 = P_W$	

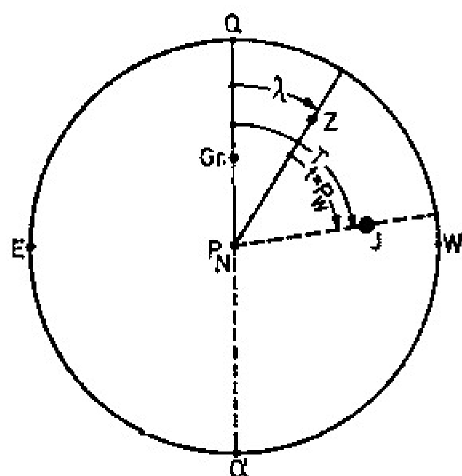


Fig. 19-2

4 Calculul unghiului la pol și al declinației Lunii

În efemerida nautică BNA, variația orară minimă a timpului lunar se consideră egală cu 14°19'; pe această bază se calculează variația timpului lunar ΔT (coloana „Moon") din tablele *„Increments and corrections"*.

În tablele zilnice ale Lunii (coloana *„Moon"), mărimile v (înscrise pe coloana „v") reprezintă difrența dintre variația reală a timpului lunar* (obținută din diferența a două valori succesive al unghiului orar la Greenwich al Lunii, de pe coloana „G.H.A.") și *14°19'; v este întotdeauna pozitiv.*

Ca și în cazul planetelor, unghiului orar la Greenwich al Lunii trebuie să i se aplice o corecție $\Delta_2 T$, funcție de ΔTm și v, care se obține din tablele *„Increments and corrections"*.

Coloana d exprimă variația orară a declinației Lunii în valoare absolută. Prin compararea valorilor consecutive ale declinației corespunzătoare timpului mediu la Greenwich, imediat inferior și imediat superior celui pentru momentul observației, se

stabilește semnul variației orare *d: pozitiv,* în caz de *creștere* a declinației în valoare absolută și *negativ,* în caz de descreștere.

Variația $\Delta\delta$ a declinației Lunii corespunzătoare intervalului de timp mediu ΔTm se obține din tablele *„Increments and corrections"*, funcție de ΔTm și d.

Deoarece Luna are mișcarea aparentă proprie pe sfera cerească cea mai pronunțată, în rândul aștrilor sistemului solar, variația în timp a coordonatelor satelitului nostru natural este cea mai mare; de aceea, se impune a se acorda o atenție deosebită la determinarea diferitelor corecții, în calculul unghiului orar și al declinației Lunii.

Exemplu

În ziua de 9.11.1973, în punctul $\varphi = 12°42'$ S; $\lambda = 25°30'$ W la $A = 5^h22^m45^s$ se face o observație la Lună; $(Tm - A) = -10^m25^s$ pentru momentul observației. Se cere P și δ.

Rezolvare:

$A = 5^h22^m45^s$
$+(Tm - A) = -10^m20^s$

$Tm = 5^h12^m20^s$ din 9.11.73

9.11. pentru $Tm = 5^h$	$T = 98°55'.6 (v. = 8'.8)$		$\delta = N\ 14°58'.8 (d \doteq +11'.4)$
variația pt. $\Delta Tm = 12^m20^s$	$\Delta_1 T = 4\ 56.6$		$\Delta\delta = +\ 2.4$
Corecția pt. ΔTm și v	$\Delta_2 T = 1.8$		
	$T = 101\ 54.0$		$\delta = N\ 15°01'.2$
	$+\lambda = -25\ 30.0$		
	$t = 76°24'.0 = P_W$		

§3 Calculul unghiului la pol și al declinației stelelor

Întocmirea unor table zilnice cu unghiul orar la Greenwich pentru cele aproximativ 170 de stele folosite în navigație, în genul celor din anexa II, ar face ca efemerida nautică să devină de un volum enorm. Pentru a se simplifica redactarea efemeridelor, acestea conțin timpul sideral la Greenwich Ts, cu ajutorul căruia se calculează unghiul orar al stelei; tablele zilnice ale efemeridei BNA redau timpul sideral la Greenwich Ts pe coloana *„Aries – G.H.A."* (vezi anexa II), în funcție de dată și timpul mediu la Greenwich Tm.

În aceste condiții, unghiul la pol și declinația unei stele se calculează astfel:

– se determină data și timpul mediu la Greenwich Tm pentru momentul observației;

– se scoate din efemeridă timpul sideral la Greenwich Ts, de pe coloana *„Aries – G.H.A."*, în funcție de dată și timpul mediu la Greenwich Tm;

– se scoate din efemeridă unghiul $\tau = 360° - \alpha$ și declinația stelei. Așa cum s-a arătat, coordonatele stelelor sunt redate în două părți: în tablele zilnice pentru 57 stele principale (anexa II) și în tabla *„Stars"* (stele), pentru 172 stele folosite în navigație;

– se calculează unghiul orar la Greenwich T al stelei din timpul sideral la Greenwich Ts și unghiul τ (relația 18-5): $T = Ts + \tau$;

– unghiul orar la Greenwich T al stelei se transformă în unghi orar al locului t (relaţia 18-2): $t = T + \lambda$;

– unghiul orar t al stelei la meridianul locului se transformă în unghi la pol P (relaţiile 15-4).

Exemplu: În ziua de 10.11.1973 în punctul $\varphi = 34°30'$ N; $\lambda = 32°10'.5$ E la $A = 23^h50^m20^s$ se face o observaţie la steaua *Arcturus;* $Tm - A = +25^m20^s$ pentru momentul observaţiei. Se cere unghiul la pol şi declinaţia stelei.

Rezolvare (fig. 19-3):

$A = 23^h50^m20^s$		
$+(Tm - A) = +\ 25\ 20$		
$Tm = 24^h15^m40^s$		
$= -24^h$		
$Tm = 0^h15^m40^s$ din 11.11.73		
11.11. pentru $Tm = 0^h$	$T = 49°59'.8$	
variaţia pt. $\Delta Tm = 15^m40^s$	$\Delta Ts = 3\ 55.6$	
11.11 pt. $Tm = 0^h15^m40^s$	$Ts = 53\ 55.4$	
	$+\tau = 146\ 23.1$	.... $\delta = N\ 19°19'.0$
	$T = 200\ 18.5$	
	$+\lambda = +32\ 10.5$	
	$t = 232°29'.0$	
	$P_E = 360° - 232°29' = 127°31'$	

Intervalul de timp sideral $\Delta Ts = 3°55'.6$ corespunzător intervalului de timp mediu $\Delta Tm = 15^m40^s$ se obţine din *„Increments and corrections" tabla 15^m*, coloana *Aries;* variaţia orară a timpului sideral care stă la baza întocmirii acestor table este de 15°02'.5.

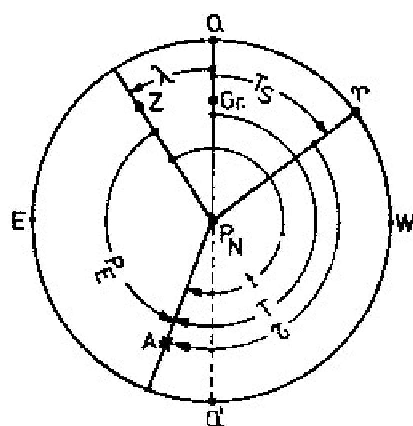


Fig. 19-3

§4 Calculul orei culminaţiei aştrilor

Ora culminaţiei aştrilor prezintă interes pentru stabilirea momentului măsurării înălţimii meridiane, în scopul determinării latitudinii locului; în practica navigaţiei astronomice, această problemă este rezolvată în mod frecvent cu observaţii la Soare şi în cazuri rare la Lună, planete sau stele.

1 Calculul orei culminației prin «procedeul invers»

Ora cronometrului pentru momentul culminației unui astru se calculează prin „*procesul invers*“ celui aplicat la rezolvarea problemei unghiului la pol, astfel:

– unghiul orar al astrului la meridianul locului se consideră $t = 0° = 360°$, la culminația superioară și $t = 180°$, la culminația inferioară. Acesta se transformă în unghi orar la Greenwich T, în cazul aștrilor sistemului solar sau în timp sideral la Greenwich Ts, în cazul stelelor, folosind *relațiile inverse decât la calculul unghiului la pol:*

$T = t - \lambda$, la aștrii sistemului solar;
$Ts = t - \lambda - \tau$, la stele;

– T, respectiv Ts, se transformă în timp mediu la Greenwich Tm, intrările în tablele zilnice ale efemeridei efectuându-se *invers* decât la calculul unghiului la pol; folosirea acestui mod de intrare în tablele zilnice ale efemeridei, cât și relațiile inverse de calcul au condus la denumirea de „*procedeu invers*“;

– timpul mediu la Greenwich Tm astfel determinat se transformă în ora cronometrului pentru momentul culminației astrului, prin relația:

$$A = Tm - (Tm - A)$$

Precizia acestui procedeu este funcție de precizia cunoașterii longitudinii locului.

Exemplul 1. Să se calculeze ora cronometrului A pentru momentul culminației superioare a Soarelui în ziua de 11.11.1973 în punctul $\varphi = 25°30' S$; $\lambda = 20°20' W$; $(Tm - A) = -10^m30^s$.

Rezolvare:

$ta = 0°$
$-\lambda = -20°20'$

$Ta = 20\ 20$
$Ta_1 = 18\ 59.2$ .... $Tm = 13^h$

$\Delta Ta = 1°20'.8$ .... $\Delta Tm = 05^m23^s$

$Tm = 13\ 05\ 23$ din 11.11
$-(Tm - A) = -10\ 30$

$A = 13^h15^m53^s$

$\Delta Ta_1 = 18°59'.2$ reprezintă unghiul orar la Greenwich al Soarelui imediat inferior lui $Ta = 20°20'$, găsit pe coloana „*Sun*“ *(Soare)* a tablei zilei de 11.11 (vezi anexa II).

ΔTa este diferența $Ta - Ta_1$; $\Delta Tm = 5^m23^s$ este intervalul de timp mediu corespunzător lui ΔTa, obținut prin intrare *inversă* în „*Increments and corrections*“ pe coloana „*Sun*“.

Exemplul 2. Să se calculeze ora cronometrului A pentru momentul culminației superioare a stelei Vega în ziua de 10.11.1973 în punctul $\varphi = 35°18' N$; $\lambda = 30°10' E$; $(Tm - A) = +15^m00^s$.

Rezolvare:

$t =$	$359°60'$		
$-\lambda = +$	$30°10$		
$T =$	$329\ 50$		
$-\tau =$	$80\ 59.3$		
$Ts =$	$248\ 50.7$		
$Ts_1 =$	$244\ 32\ 7$	$Tm =$	13^h
$\Delta Ts =$	$4°18'.0$	$\Delta Tm =$	18^m01^s
		$Tm =$	$13\ 18\ 01$ din 10.11
		$-(Tm = A) = +$	$15\ 00$
		$A =$	$13^h03^m01^s$

$Ts_1 = 244°32'.7$ reprezintă timpul sideral la Greenwich imediat inferior lui $T_s = 248°50'.7$ găsit pe coloana *„Aries“* (punctul vernal) a tablei zilei de 10.11.73 (vezi anexa II).

$\Delta Ts = 4°18'.0$ este diferența $Ts - Ts_1$; $\Delta Tm = 18^m10^s$ reprezintă intervalul de timp mediu corespunzător lui ΔTs obținut prin intrare *inversă* în tabla *„Increments and corrections“* pe coloana *„Aries“.*

Procedeul practic folosit pentru măsurarea înălțimii meridiane a aștrilor (vezi cap. 15, § 2) este satisfăcut de cunoașterea orei culminației la precizie de 1^m. Așa cum s-a arătat la § 1 de mai sus, tablele zilnice ale efemeridei conțin timpul mediu la Greenwich *Tm* pentru momentul culminației aștrilor sistemului solar *(„Mer. Pass.“)*, precum și a punctului vernal (în partea de jos a coloanei *„Aries“)*. Utilizarea acestuia, permite o rezolvare mai expeditivă a problemei orei culminației aștrilor.

2 Calculul orei culminației Soarelui

Dat fiind mișcarea aparentă lentă a Soarelui în sens direct pe ecliptică, timpul mediu la Greenwich *Tm* pentru momentul culminației superioare a Soarelui, indicat în partea dreaptă – jos, pe coloana *„Sun – Mer. Pass“*, se poate considera practic egal cu timpul mediu al locului *tm*.

Timpul mediu al locului se transformă în ora fusului prin relația (18-9): $tf = tm + (\lambda f - \lambda)$.

Exemplu. Să se calculeze ora bordului *O* (egală cu ora fusului 2 estic) pentru momentul culminației superioare a Soarelui în ziua de 9.11.1973 pe meridianul $\lambda = 25°30'$ E.

Rezolvare:

$tm = 11^h44^m$ (vezi anexa II)	$\lambda f = +30°00'$
$+(\lambda f - \lambda) = +18$	$-\lambda = +25\ 30$
$O = tf = 12^h02^m$	$\lambda f - \lambda = +4°30' = +18^m$

3 Calculul orei culminației Lunii

Tablele zilnice al Lunii conțin *timpul mediu la Greenwich Tm*, atât pentru culminația superioară (pe coloana *„Moon-Upper-Mer. Pass“.)*, cât și pentru culminația sa inferioară *(„Moon-Lower-Mer. Pass“.)*.

Intervalul de timp mediu dintre două culminații consecutive ale Lunii la același meridian este în medie de 24^h53^m, datorită mișcării sale aparente proprii pe sfera cerească în sens direct, în medie de 13°15′ pe zi. Această *retardație* face să existe zile în care Luna să nu culmineze la un anumit meridian; un asemenea caz poate fi observat în ziua de 10.11.1973 la meridianul Greenwich (vezi anexa II).

Același fenomen mai are încă o consecință importantă; *pe longitudini estice, timpul mediu al locului pentru momentul culminației Lunii este anterior celui de la Greenwich, indicat în efemeridă, iar pe longitudini vestice este posterior;* ca urmare, *timpul mediu al locului tm pentru momentul culminației Lunii se obține din timpul mediu Greenwich, indicat în efemeridă, căruia i se aplică o corecție de longitudine,* funcție de longitudinea λ a observatorului și de *retardația* Δ dintre două culminații ale Lunii la Greenwich, determinată astfel:

– dintre timpul mediu la Greenwich pentru momentul culminației din ziua respectivă și cea anterioară, dacă longitudinea locului este estică;

– dintre timpul mediu la Greenwich pentru momentul culminației din ziua următoare și cea respectivă, dacă longitudinea locului este vestică.

Corecția pentru longitudine se calculează din relația:

$$\text{cor. pt. } \lambda = \frac{\lambda(\text{in ore})}{24} \times \Delta(\text{în minute}) \qquad (19\text{-}1)$$

fiind *negativă* pe *longitudini estice* și *pozitivă* pe *longitudini vestice.*

Această corecție poate fi obținută direct din tabla „*Correction for finding Greenwich date of Moon's meridian passage*" din BNA, funcție de longitudinea observatorului și retardația Δ dintre două culminații consecutive ale Lunii la Greenwich.

Timpul mediu al locului pentru momentul culminației Lunii astfel calculat, se transformă în timpul fusului (ora bordului) prin relația (18-9): $O = tf = tm + (\lambda f - \lambda)$.

Exemplu

Să se calculeze ora bordului (ora fusului 4 vestic) pentru momentul culminației superioare a lunii în ziua de 9.11.1973 în punctul φ = 38°25′ N; λ = 60°30′ W.

Rezolvare:

9.11. culminația la Greenwich .... $Tm = 23^h04^m (\Delta = +59^m)$
Corecția pentru λ .... = +10

9.11 culminația la meridianul locului .... tm = 23 14
$+(\lambda f - \lambda)$ = −2
$0 = tf = 23^h12^m$

$\Delta = 24^h03^m - 23^h04^h = 59^m$ (din anexa II, tabla zilelor de 9 și 10 noiembrie 1973); $(\lambda f - \lambda) = -60° - (-60°30') = +30' = +2^m$.

Corecția pentru longitudine determinată din tabla menționată mai sus, din relația (19-1):

$$\text{Cor. pt. } \lambda = \frac{4 \times 59}{24} = 10^m$$

calculată la precizie de 1^m.

4 Calculul orei culminației planetelor

Intervalul de timp dintre două culminații consecutive ale unei planete la același meridian, poate fi *mai mare* sau *mai mic* de 24^h, după cum planeta are o mișcare aparentă proprie pe sfera cerească în *sens direct* (opus sensului mișcării diurne) sau *retrograd*. În primul caz, se spune că planeta are o *retardație,* situație în care există zile fără culminație superioară la anumite meridiane; în cel de al doilea caz, se spune că planeta are un *avans,* când este posibil ca astrul să aibă două culminații superioare la același meridian.

Ora culminației unei planete se calculează astfel:

– se scoate timpul mediu la Greenwich *Tm* pentru momentul culminației planetei din efemeridă (vezi anexa II);

– se calculează diferența Δ dintre timpul mediu la Greenwich *Tm* pentru momentul culminației (dat în efemeridă) din ziua anterioară și cea respectivă, dacă longitudinea este estică sau dintre *Tm* a zilei următoare și a zilei respective, dacă longitudinea este vestică; semnul diferenței Δ este cel care rezultă din operație;

– se calculează corecția pentru longitudine:

$$\text{Cor. pt. } \lambda = \frac{\lambda\left(\text{in ore}\right)}{24} = (\Delta \text{ (în minute)}$$

– se face corecția pentru longitudine a timpului mediu la Greenwich din momentul culminației planetei și se obține timpul mediu al locului;

– timpul mediu al locului se transformă în timpul fusului (relația 18-9): $tf = tm + (\lambda f - \lambda)$.

Exemplu. Să se calculeze ora bordului (fusul 2 estic) pentru momentul culminației superioare a planetei Jupiter în ziua de 9.11.1973 în punctul $\varphi = 43°15'$ N; $\lambda = 36°00'$ E.

Rezolvare:

9.11. culminația la Greenwich .... $Tm = 17^h12^m(\Delta = +10^m)$
Corecția pentru λ .... $= +\ \ 1$

9.11 culminația la meridianul locului .... $tm = 17\ 13$
$+(\lambda f - \lambda) = -24$
$0 = tf = 16^h49^m$

Diferența Δ se calculează astfel:
Tm pentru 8.11. .....= 17^h22^m
Tm pentru 9.11. .....= 17^h12^m
$\Delta = +10^m$

$$\text{Corecția pentru longitudine} = \frac{\lambda \cdot \Delta}{24} = \frac{2^h.4 \times 10^m}{24} = +1^m.$$

Diferența $(\lambda f - \lambda) = +30° - (+36°) = -6° = -24^m$.

20 MĂSURAREA ŞI CORECTAREA ÎNĂLŢIMILOR AŞTRILOR

§1 Generalităţi

Determinarea astronomică a poziţiei navei are la bază măsurarea înălţimii aştrilor deasupra orizontului. Instrumentul folosit la bordul navelor pentru măsurarea înălţimilor la aştri, în navigaţia astronomică, precum şi a unghiurilor orizontale şi verticale, în navigaţia costieră, este *sextantul;* acesta este un instrument portativ, prevăzut cu un *sistem optic cu coincidenţă,* care face posibilă *măsurarea unghiurilor prin vizare simultană.* Măsurarea înălţimii unui astru se face prin vizarea simultană a astrului şi a orizontului mării, orientând sextantul în planul vertical al astrului şi aducând în coincidenţă imaginile celor două puncte materiale observate: astrul şi punctul de intersecţie a orizontului vizibil cu verticalul astrului; astfel, *înălţimea instrumentală hi* a unui astru este unghiul din planul verticalului astrului cu vârful în ochiul observatorului, măsurat cu sextantul între direcţia la astru şi la orizontul vizibil.

Linia de poziţie astronomică folosită la determinarea punctului navei se obţine însă din *înălţimea adevărată ha* a astrului, reprezentând arcul de vertical măsurat de la orizontul astronomic până la astru. Transformarea înălţimii instrumentale a astrului în înălţimea adevărată se obţine prin aplicarea unor corecţii.

Operaţiunea de transformare a înălţimilor instrumentale în înălţimi adevărate se numeşte *corectarea înălţimilor.*

Sextantul* asigură posibilitatea măsurării unghiurilor la pre ızie de 0'.1. Precizia punctului astronomic este funcţie directă de precizia măsură ıi înălţimilor la aştrii. Dat fiind importanţa deosebită pe care o prezintă utilizarea sextantului în navigaţia astronomică şi cea costieră, obţinerea unor deprinderi sigure şi precise în mânuirea acestui instrument pentru măsurarea înălţimilor, a unghiurilor orizontale şi verticale, constituie o obligaţie profesională a fiecărui navigator. Măiestria unei asemenea mânuiri a sextantului se realizează printr-un antrenament metodic şi perseverent, în condiţii diferite de navigaţie.

---

* Regulile Registrului Naval Român, ca şi ale celorlalte societăţi de clasificare, prevăd obligativitatea dotării navelor maritime camerciale de cursă lungă cu două sextante.

Pe lângă sextantele cu observaţie deasupra orizontului vizibil, mai există *sextante giroscopice cu orizont artificial, sextante cu nivelă şi sextante radio,* care nu sunt introduse încă în practica navigaţiei la bordul navelor maritime comerciale; ele se folosesc la bordul navelor cu destinaţii speciale şi a acelora care navigă în zonele polare sau în zone cu condiţii deosebite de observaţie.

§2 Sextantul

1 Principiul măsurării unghiurilor cu sextantul

Din punct de vedere optic, utilizarea sextantului pentru măsurarea unghiurilor se bazează pe principiul dublei reflexii*, fiind o aplicație a oglinzilor rotative.

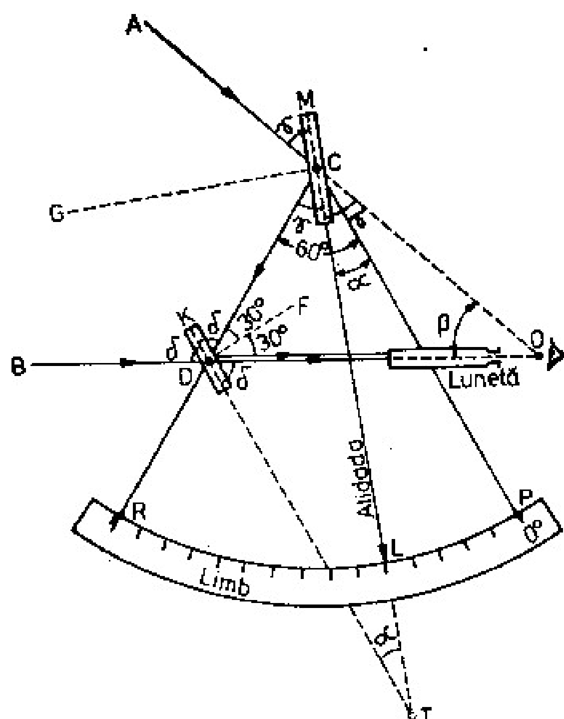


Fig. 20-1

Partea optică a sextantului este montată pe un cadru metalic, format în principal din trei părți (fig. 20-1): un sector circular gradat *PR* numit *limb* și doi montați radicali *CP* și *CR*, care se unesc în centrul *C* al limbului; măsura arcului de limb *PR*, respectiv a unghiului *PCR*, este de 60°.

O oglindă *M* de formă dreptunghiulară, numită *oglindă mare*, este montată perpendicular pe planul limbului, pe *alidada CL*, care se poate roti odată cu aceasta în jurul unui ax ce trece prin centrul *C*. Alidada este prevăzută cu un indice *L*, care se deplasează în dreptul gradațiilor limbului.

O oglindă *K*, cu centrul în *D*, numită *oglinda mică*, este fixată pe montantul *CR*, perpendicular pe planul limbului, orientată paralel cu montantul *CP*; aceasta este de formă circulară, având jumătatea dinspre cadru etamată (argintată) și cealaltă jumătate neetamată (sticlă transparentă).

O lunetă montată pe montantul *CP*, cu axa orientată spre centrul *D* al oglinzii mici *K* și paralelă cu planul limbului; ea facilitează observarea prin mărirea imaginilor obiectelor, fără să aibă însă nici un rol în principiul instrumentului.

---

* *Principiul dublei reflexii* a fost descoperit de Newton la începutul secolului XVIII; sextantul, într-o formă apropiată de cea de azi, a fost realizat în anul 1731.

Oglinda mică este fixată astfel ca normala DF în centrul ei să fie orientată pe bisectoarea unghiului format între axa OD a lunetei și dreapta DC care unește centrele celor două oglinzi; deci $\sphericalangle ODF = \sphericalangle CDF = 30°$.

Pentru a măsura unghiul dintre două obiecte A și B, se orientează sextantul în planul determinat de cele două obiecte și ochiul observatorului O.

Se vizează direct obiectul B (din stânga) prin lunetă și partea neetamată a oglinzii mici; razele de lumină de la obiectul B ajung deci în ochiul observatorului pe direcția BDO. Deoarece observatorul obține imaginea obiectului B prin vizare directă, ea se numește *imagine directă* sau *imagine reală*.

Se rotește alidada și odată cu ea oglinda mare M, astfel ca razele de lumină care vin de la A să fie reflectate de oglinda mare pe direcția CD și de partea etamată a oglinzii mici în ochiul observatorului pe direcția DO. Imaginea obiectului A ajunsă în ochiul observatorului prin *reflexie dublă*, realizată de cele două oglinzi, se numește *imagine dublu reflectată*.

Razele de lumină de la A și B ajung astfel deodată în ochiul observatorului, acesta văzând imaginile celor două obiecte suprapuse sau „în coincidență". Unghiul $AOB = \beta$, cu vârful în ochiul observatorului, este unghiul măsurat cu sextantul prin aducerea în coincidență a *imaginii dublu reflectate* a obiectului A cu *imaginea directă* a obiectului B, considerate punctiforme.

Prelungind direcția oglinzilor M și K în planul sextantului, la intersecția T se obține unghiul $CTD = \alpha$. Pentru a stabili relația dintre unghiurile α și β, notăm unghiul de incidență și reflexie a razei AC în punctul C, cu γ, iar a razei reflectate CD în punctul D, cu δ; astfel:

– în triunghiul CTD, unghiul exterior $\delta = \alpha + \gamma$ sau:

$$2\,\delta = 2\,\alpha + 2\gamma;$$

– în triunghiul CDO, unghiul exterior $CBD = 2\,\delta$ este dat de egalitatea:

$$2\,\delta = \beta + 2\gamma;$$

– din ultimele două egalități se obține:

$$\beta = 2\,\alpha. \tag{20-1}$$

Rezultă că *unghiul măsurat la obiectele A și B este egal cu dublu unghiului format între oglinzi;* această relație confirmă *principiul dublei reflexii:* într-un sistem de dublă reflexie, unghiul format între raza directă și raza dublu reflectată este egal cu dublul unghiului dintre suprafețele reflectante.

Poziția zero a alidadei. Razele de lumină ce vin de la un astru sau de la un obiect depărtat și cad pe suprafețele celor două oglinzi pot fi considerate ca paralele între ele. Vizându-se cu sextantul, de exemplu, o stea și aducându-se în coincidență imaginea ei dublu reflectată cu cea directă, unghiul $\beta = 0°$ și deci $\alpha = 0°$; *în poziția în care cele două imagini ale unui obiect, dublu reflectată și directă, sunt în coincidență, oglinzile sunt paralele între ele* (fig. 20-2).

Această poziție a alidadei în care oglinda mare este orientată paralel cu oglinda mică se numește „poziția zero a alidadei CL_0". Să considerăm că în dreptul indicelui L_0 al *alidadei în poziția zero* se marchează pe limb *gradația zero* (căruia îi corespunde punctul P din fig. 20-1).

Revenind la figura 20-1, se observă că unghiul $\alpha = \sphericalangle CTD$ dintre oglinzi, în poziția alidadei de coincidență a imaginii dublu reflectate A cu imaginea directă B, este egal cu unghiul PCT cu care alidada a fost rotită din poziția sa zero *(CP)*. Se

poate spune deci că unghiul β la obiectele *A* și *B* este egal cu dublul unghiului cu care alidada a fost rotită din poziția *zero* în *poziția de coincidență* a imaginilor, respectiv egal cu dublul măsurii corespunzătoare a arcului de limb cu originea în *gradația zero* a limbului.

Gradarea limbului este însă astfel executată, încât unghiul β se citește direct, funcție de măsura arcului de limb între *gradația zero* și indicele alidadei în poziția

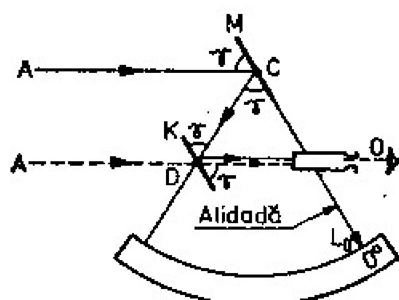


Fig. 20-2

de coincidență a imaginilor. Aceasta se realizează prin marcarea dublă a unghiurilor față de măsurile corespunzătoare ale arcelor de limb; astfel, un sector de limb cuprins între gradațiile zero și 30° are în realitate o măsură de 15°, respectiv întregul limb până la 120° are măsura de 60°*.

2 Descrierea sumară a sextantului

Părțile componente principale ale unui sextant sunt următoarele (fig. 20-3):

– *limbul* (1), gradat de la 0° la 125°;

– *alidada* (2), care se poate roti în jurul centrului limbului. În dreptul indicelui alidadei se citesc pe limb unghiurile măsurate, la precizie de grad;

– *tamburul* (3), gradat de la 0′ la 60′ cu *vernierul cilindric* (13), care permite citirea unghiurilor la precizie de 0′.1;

– *luneta* (4), montată pe un suport;

– *oglinda mare* (5), fixată pe alidadă, perpendiculară pe planul limbului;

– *oglinda mică* (6), fixă, perpendiculară pe planul limbului;

– *geamurile colorate mari* (7), de transparențe progresive, care se intercalează, prin rotire, între oglinda mare și cea mică. Acestea se folosesc în cazul observațiilor la Soare și Lună, așezându-se în calea razelor reflectate de oglinda mare spre cea mică;

– *geamurile colorate mici* (8), în spatele oglinzii mici. Acestea se interpun în calea razelor directe, în cazul observațiilor la Soare și uneori chiar la Lună, când orizontul este prea luminos;

– *mânerul* (12);

– *montanții* (15).

---

* Măsura de 60° = $\frac{360^\circ}{6}$ a sectorului de limb, deci 1/6 de cerc, explică denumirea *sextantului* modern, față de vechiul *octant* – care avea limbul cu un sector de $\frac{360^\circ}{8}$ = 45°.

3 Controlul și reglarea sextantului de către observator

Din cele arătate mai sus la punctul 1 rezultă că, pentru ca unghiurile măsurate cu sextantul să nu fie afectate de erori, se impune ca:

– oglinda mare și cea mică să fie perpendiculare pe planul sextantului (definit de limb);

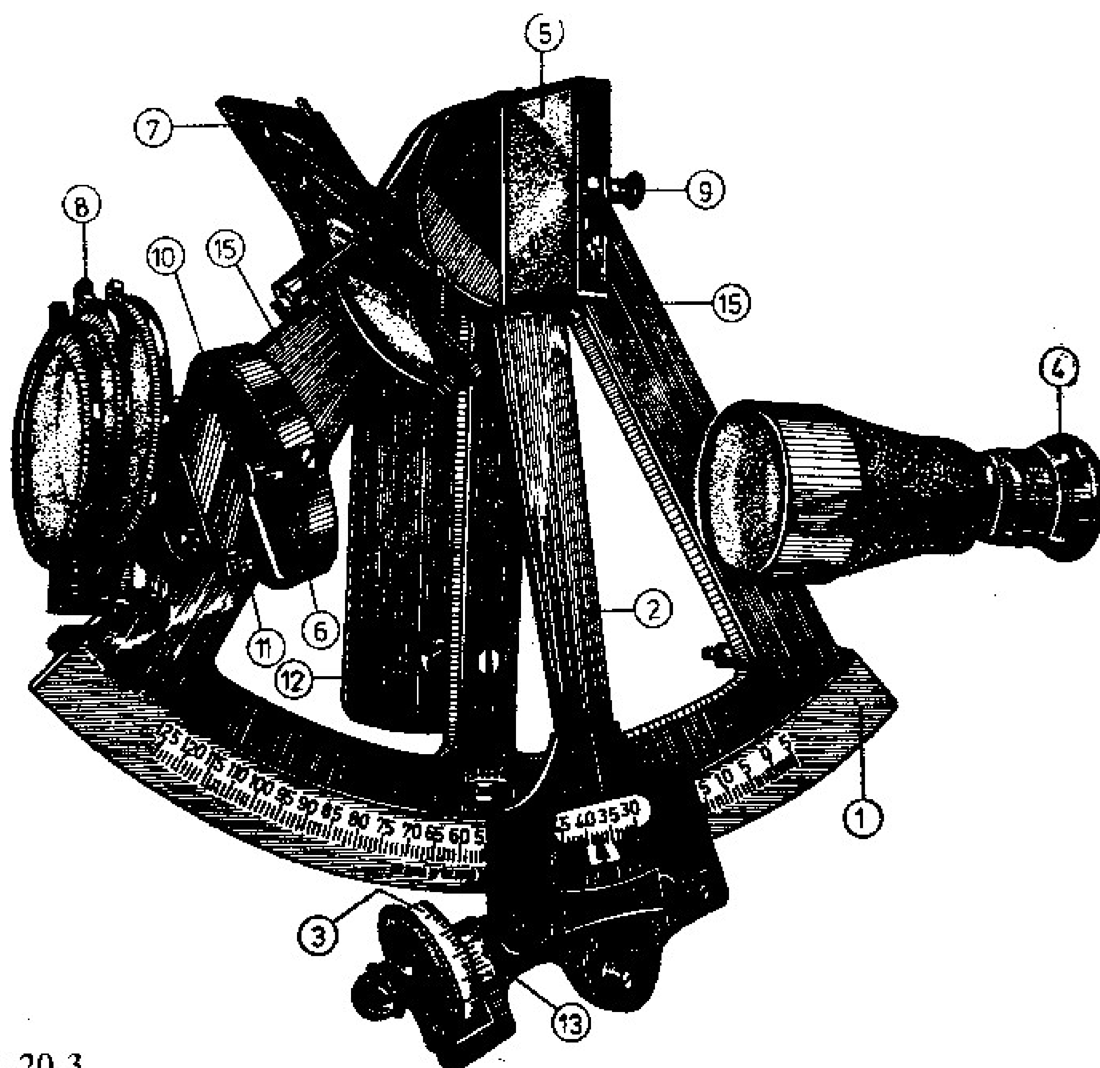


Fig. 20-3

– când indicele alidadei (cu tamburul la zero) se află în dreptul *gradației zero* a limbului, oglinzile trebuie să fie paralele între ele.

Erorile care pot fi controlate și reglate de către observator sunt:

– neperpendicularitatea oglinzii mari pe planul sextantului;

– neperpendicularitatea oglinzii mici pe planul sextantului;

– neparalelismului oglinzilor.

Deoarece controlul și reglarea sextantului de către observator la bord prezintă o importanță deosebită pentru precizia măsurătorilor, în cele ce urmează se redau indicațiile necesare pentru efectuarea lor, în ordinea în care operațiile trebuie executate.

A. *Controlul și reglarea perpendicularității oglinzii mari*

Se rotește alidada către mijlocul limbului și apoi se ține cu oglinda mare spre observator (limbul în afară), aproximativ la înălțimea ochiului.

Se privește pe lângă marginea verticală interioară a oglinzii mari spre partea de limb pe care se află *gradația zero;* simultan, se observă în oglinda mare imaginea reflectată a extremității opuse a limbului (spre gradația 125°).

Dacă imaginea reflectată a limbului este în planul părții de limb văzută direct, oglinda mare este perpendiculară pe planul sextantului.

Dacă imaginea reflectată a limbului apare într-un plan diferit decât partea văzută direct (mai sus sau mai jos), reglarea perpendicularității oglinzii mari pe planul sextantului se realizează prin strângerea și respectiv slăbirea șurubului (9). Operația se continuă până când cele două imagini ale limbului, directă și reflectată, se văd în același plan.

B. *Controlul și reglarea perpendicularității oglinzii mici*

Se pune alidada la gradația zero a limbului și se vizează un astru, Soarele pe timpul zilei sau mai comod o stea pe timpul nopții, ținând sextantul în planul verticalului astrului.

Se rotește tamburul și dacă imaginea dublu reflectată a astrului poate fi adusă în coincidență cu cea directă, oglinda mică este perpendiculară pe planul sextantului. Dacă imaginea dublu reflectată a astrului *(S′* sau *A′)* are o deplasare laterală față de cea directă *(S* sau *A),* înseamnă că oglinda mică nu este perpendiculară pe planul sextantului (fig. 20-4).

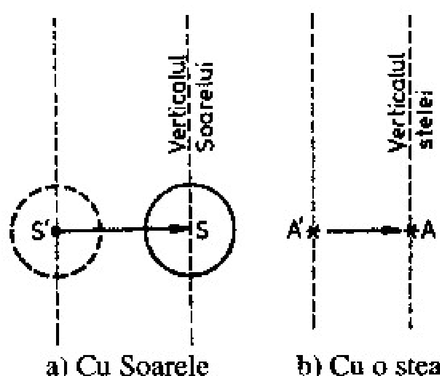


Fig. 20-4 a) Cu Soarele b) Cu o stea

Reglarea perpendicularității oglinzii mici se efectuează prin strângerea sau slăbirea șurubului (10), aflat în spate, în partea ei superioară; operația se continuă până când imaginea dublu reflectată *(S′* sau *A′)* este adusă în planul verticalului astrului. Dacă reglarea este corect executată, prin rotirea tamburului, imaginea dublu reflectată a astrului poate fi adusă în coincidență cu imaginea sa directă.

C. *Controlul și reglarea paralelismului oglinzilor*

Controlul paralelismului oglinzilor se execută după reglarea perpendicularității lor pe planul sextantului, astfel:

– se pune tamburul la zero și alidada la *gradația zero a limbului*, după care se vizează un astru, ținând sextantul în planul verticalului astrului;

– dacă imaginea dublu reflectată a astrului este în coincidență cu cea directă, oglinda mică este paralelă cu oglinda mare;

– dacă imaginea dublu reflectată *A′* se vede mai sus sau mai jos decât imaginea reală *A*, înseamnă că oglinda mică nu este paralelă cu oglinda mare (fig. 20-5 *a*).

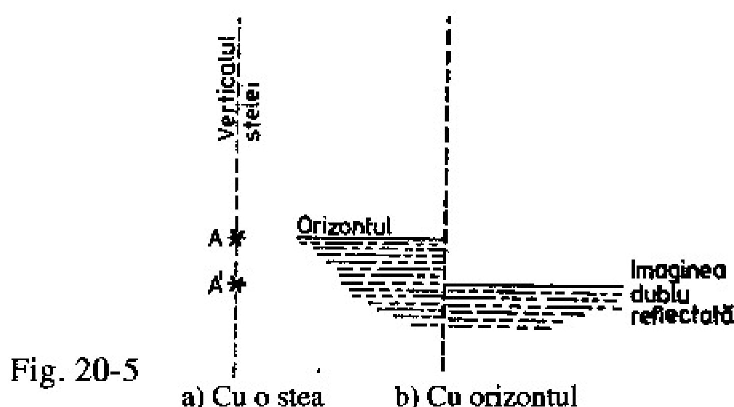


Fig. 20-5 a) Cu o stea b) Cu orizontul

Aducerea oglinzii mici în poziție de paralalelism cu cea mare se efectuează prin strângerea sau slăbirea șurubului lateral de reglare (11), până când imaginea dublu reflectată a astrului este adusă în coincidență cu cea directă.

Controlul și reglarea paralelismului oglinzilor se execută obișnuit pe timpul zilei și prin vizarea orizontului mării, când acesta este bine conturat. Dacă cu tamburul la zero și indicele alidadei la gradația *zero limb*, orizontul apare ca o linie continuă, oglinzile sunt paralele; când orizontul apare ca o linie discontinuă, imaginea dublu reflectată mai jos (fig. 20-5 *b*) sau mai sus decât cea directă, oglinzile nu sunt paralele. Reglarea se efectuează prin acționarea șurubului (11), până când orizontul se observă ca o linie continuă.

4 Eroarea indicelui

Eroarea rămasă de neparalelism a oglinzilor determină o eroare în citirea unghiurilor măsurate cu sextantul, egală cu măsura arcului de limb dintre *gradația zero a limbului și indicele alidadei în poziția zero* (poziția de paralelism a oglinzilor), numită *eroarea indicelui* (ε). Ea poate fi anulată sau redusă considerabil printr-o reglare atentă a paralelismului oglinzilor, în modul arătat; operația nu se recomandă însă prea des, deoarece poate conduce la o dereglare a sistemului de fixare a oglinzii mici. De aceea, în practica navigației, reglarea paralelismului oglinzilor nu se efectuează de regulă decât atunci când eroarea indicelui ia valori mai mari de 2′; se determină însă cu precizie măsura ei, prin metode de observație, funcție de care se corectează apoi unghiurile citite la sextant.

Înainte de a vedea metodele de determinare, să analizăm modul în care eroarea indicelui afectează precizia unghiurilor măsurate cu sextantul.

Considerăm mai întâi că indicele *alidadei în poziția zero* (poziția de paralelism a oglinzilor) coincide cu *gradația zero a limbului* L_0 (fig. 20-6); în această situație,

mărimea unghiului observat este egală cu mărimea unghiului *hi* citit la sextant în raport cu *gradația zero a limbului* L_0, deci $\sphericalangle L_0CL_3=hi$.

Dacă indicele *alidadei în poziția zero* este în L_1, *în dreapta gradației zero a limbului* L_0, măsura unghiului observat este $\sphericalangle L_1CL_3=hi$; unghiul corespunzător citit la sextant în raport cu *gradația zero a limbului* L_0 este *hi, mai mic* decât h_1 cu cantitatea $\sphericalangle L_0CL_1$, care reprezintă *eroarea indicelui* ε. Rezultă astfel că $h_1 = hi + \varepsilon$.

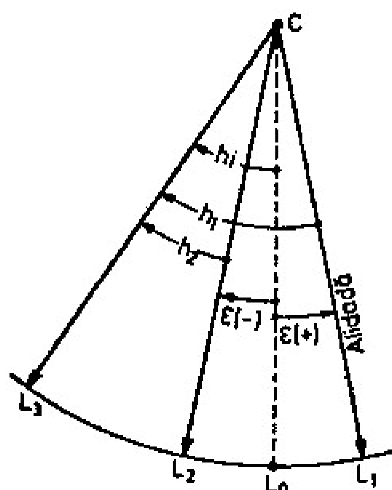


Fig. 20-6

În cazul când indicele *alidadei în poziția zero* este în L_2, *în stânga* gradației zero a limbului L_0, măsura unghiului observat este $\sphericalangle L_2CL_3 = h_2$; unghiul corespunzător citit la sextant în raport cu L_0 este *hi, mai mare* decât h_2 cu cantitatea ε. În această situație, $h_2 = hi - \varepsilon$.

Față de cele arătate mai sus, se poate conclude:

– dacă indicele alidadei în poziția zero este *în dreapta* gradației zero a limbului, unghiurile instrumentale (citite la sextant) sunt *mai mici* decât unghiurile observate cu o cantitate ε. În acest caz, unghiurile observate *ho* se obțin din relația:

$$ho = hi + \varepsilon,$$

corecția pentru *eroarea indicelui* fiind aplicată cu semnul *plus;*

– când indicele alidadei în poziția zero este *în stânga* gradației zero a limbului, unghiurile instrumentale *hi* sunt *mai mari* decât unghiurile observate *ho* cu o cantitate ε. În acest caz, relația dintre ele este:

$$ho = hi - \varepsilon, \qquad (20\text{-}2')$$

corecția pentru eroarea indicelui fiind aplicată deci cu semnul *minus.*

Determinarea erorii indicelui. Mărimea erorii indicelui se determină prin procedee de observație; astfel, pe timpul nopții, se recomandă observarea unei stele de o magnitudine redusă, iar pe timpul zilei a orizontului (fig. 20-5), astfel:

– se rotește tamburul la o gradație aproape de zero și indicele alidadei se pune la gradația zero a limbului;

– cu sextantul în poziție verticală, se vizează steaua, respectiv orizontul. Imaginea dublu reflectată *A′* a stelei apare deplasată în verticalul astrului în

raport cu cea directă *A*; în cazul observării orizontului, acesta apare ca o linie discontinuă;

– se rotește cu atenție tamburul până când imaginea dublu reflectată *A′* a stelei ajunge în coincidență cu cea directă *A* și respectiv până când orizontul se vede ca o linie continuă. În acest mod, alidada este adusă în *poziția zero* (oglinda mare este orientată paralel cu cea mică).

Se procedează apoi la citirea mărimii *erorii indicelui* și stabilirea semnului corecției, astfel:

– dacă indicele alidadei este în *stânga* gradației zero a limbului, mărimea erorii este egală cu unghiul la tambur (la precizie de 0′·1), iar corecția are *semnul minus;*

– dacă indicele alidadei este în *dreapta* gradației zero o limbului (rotirea tamburului pentru realizarea coincidenței imaginilor s-a făcut invers), eroarea indicelui ε este egală cu 60′ minus unghiul citit la tambur, iar semnul corecției este *plus*. De exemplu, indicele alidadei este în dreapta gradației zero a limbului și la tambur se citește unghiul de 58′.8; deci ε = 60′ – 58′.8 = + 1′·2.

În același mod poate fi determinată eroarea indicelui cu orice obiect suficient de depărtat (practic la o distanță minimă de 2Mm, astfel ca razele ce vin de la el să poată fi considerate paralele), cu aspect punctiform sau cu un contur evident, apt deci pentru o asemenea observație.

Determinarea erorii indicelui cu Soarele. Este metoda care permite verificarea preciziei observațiilor; se procedează astfel:

– cu indicele alidadei la gradația zero a limbului, se vizează Soarele, ținând sextantul în planul verticalului astrului;

– prin rotirea atentă a tamburului, se tangentează succesiv imaginea directă *S* a Soarelui (fig. 20-7) la bordul său inferior, cu imaginea dublu reflectată *S′* și apoi la bordul superior, cu imaginea dublu reflectată *S″*. Se citesc unghiurile pentru cele

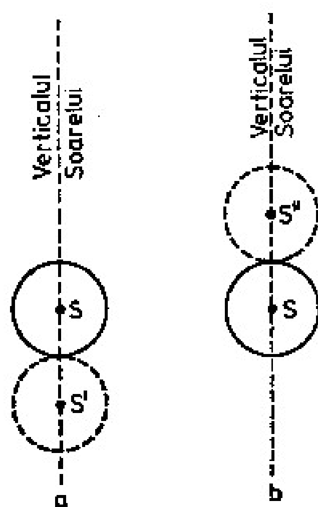


Fig. 20-7

două observații, *sub care se vede diametrul aparent al Soarelui*, citirea lor și atribuirea semnului algebric făcându-se în felul indicat mai sus.

În modul în care se fac observațiile, un unghi se citește în *stânga* gradației zero a limbului (tangentarea la bordul inferior la Soarelui), iar al doilea, *în dreapta* acestei gradații (tangentarea la bordul superior, prin rotirea inversă a tamburului).

Dacă cele două unghiuri citite sunt egale în valoare absolută, eroarea indicelui este zero. Precizia observațiilor se verifică comparând *semidiametrul aparent* observat al Soarelui (egal în acest caz cu jumătatea unghiului citit), cu *semidiametrul aparent* al Soarelui dat în efemeridă pentru data respectivă.

În cazul când cele două unghiuri citite sunt diferite, eroarea indicelui este dată de semisuma algebrică a acestora. Pentru controlul preciziilor observațiilor, semidiametrul aparent observat al Soarelui se obține din diferența algebrică a citirilor împărțită la 4; observațiile se consideră precise dacă diferența dintre semidiametrul observat și cel dat în efemeridă nu depășește 0′.1.

Exemplu. În ziua de 10 noiembrie 1973, în scopul determinării erorii indicelui sextantului, se fac următoarele observații la Soare: tangentarea la bordul inferior (citirea 33′.8, în stânga gradației zero a limbului) ...$\beta = -33'.8$; tangentarea la bordul superior (citirea 29′ în dreapta gradației zero a limbajului) ...$\propto = 60' - 29' = +31'$.

Determinarea erorii indicelui:

$$\propto = +31'.0$$
$$\underline{\beta = -33'.8}$$
$$\varepsilon = \frac{\alpha+\beta}{2} = \frac{-2\cdot 8}{2} = 1'.4$$

Controlul preciziei observațiilor:

$$\propto = +31'.0$$
$$\underline{\beta = -33.8}$$
$$\frac{\propto-\beta}{4} = \frac{64\cdot 8}{4} = 16'.2 = \text{semidiametrul observat al Soarelui.}$$

Din efemeridă, în ziua de 10.11.1973, semidiametrul Soarelui = 16′.2 (anexa II); observațiile au fost deci executate corect.

§3 Măsurarea înălțimilor aștrilor

Măsurarea înălțimii unui astru *A* cu sextantul constă în aducerea în coincidență a imaginii lui dublu reflectate (fig. 20-1) cu imaginea directă a unui punct *B* de pe orizont, care reprezintă punctul de intersecție a verticalului astrului cu orizontul vizibil.

Măsurarea înălțimii stelelor și planetelor se efectuează pe timpul crepusculului de seară și dimineață (vezi cap. 17, § 3), când orizontul vizibil este încă suficient de conturat sau în condițiile nopților luminoase cu Lună. Pentru măsurarea înălțimii unei stele (sau planete) se procedează astfel:

– se pune sextantul la zero (fig. 20-2), după care se vizează steaua, menținând instrumentul în planul verticalului astrului. Pentru măsurarea înălțimii unei stele (sau planete) se procedează astfel:

– se pune sextantul la zero (fig. 20-2), după care se vizează steaua, menținând instrumentul în planul verticalului astrului. Pentru facilitarea înțelegerii mânuirii sextantului,, considerăm că planul figurii 20-2 se confundă cu planul verticalului astrului. În condițiile date, imaginea ei dublu reflectată confundându-se cu cea directă;

– se rotește sextantul în jurul centrului *C*, menținând alidada în aceeași poziție *astfel ca să se păstreze imaginea dublu reflectată a stelei A continuu în oglinda*

mare, până când în lunetă (prin partea neetamată a oglinzii mici) apare orizontul vizibil cu imaginea directă *B* (fig. 20-1);

– măsurarea înălţimii stelei *A* se efectuează prin realizarea coincidenţei imaginii ei dublu reflectate cu imaginea directă a punctului *B* de pe orizont, care reprezintă intersecţia verticalului astrului cu orizontul vizibil.

Punctul *B* de pe orizont se stabileşte uşor prin următorul procedeu practic (fig. 20-8): după aducerea imaginii dublu reflectate *A′* a stelei *A* la orizont, sextantul

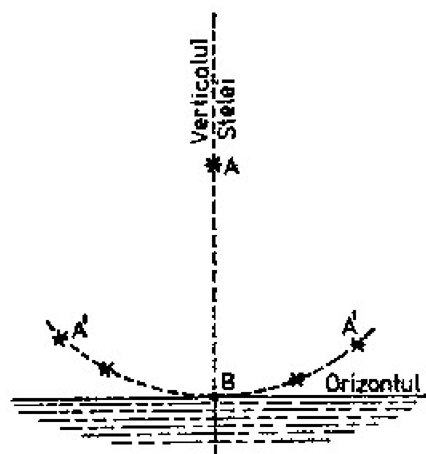


Fig. 20-8

se pendulează uşor în jurul direcţiei ochi observator – astru, astfel ca imaginea dublu reflectată să descrie un arc de cerc *A′A′*, care se deplasează în raport cu orizontul vizibil reprezintă intersecţia verticalului astrului *A* cu orizontul.

Măsurarea înălţimii Soarelui deasupra orizontului vizibil impune mai întâi alegerea geamurilor colorate, mari şi mici, funcţie de condiţiile de luminozitate. Această operaţie este de foarte mare importanţă pentru comoditatea şi precizia observaţiei şi se execută în felul următor:

– se priveşte Soarele prin geamurile colorate mari şi se alege unul sau două geamuri, astfel ca astrul să apară bine colorat şi să poată fi observat fără ca ochiul să fie jenat;

– se priveşte orizontul în azimutul Soarelui prin geamurile colorate mici şi se alege geamul cel mai potrivit, astfel ca orizontul să se menţină bine conturat şi luminozitatea lui să permită o observare comodă.

Măsurarea înălţimii Soarelui (fig. 20-9) se execută în modul arătat mai sus pentru stele, cu menţiunea că tangentarea orizontului se face cu bordul inferior al discului solar (în punctul *B*); tangentarea cu bordul superior se execută numai în cazuri excepţionale, când cel inferior nu poate fi observat, fiind acoperit de nori sau nu este clar conturat din alte cauze.

Înălţimea Lunii se măsoară într-un mod asemănător cu cea a Soarelui; în situaţii de luminozitate intensă a Lunii, se impune folosirea geamurilor colorate (cele mai puţin transparente). Măsurarea înălţimii prin tangentarea cu bordul superior, în acest caz, poate fi impusă şi de faza Lunii.

Când înălţimea astrului are o creştere evidentă (cum este cazul unui astru în apropierea primului vertical estic), pentru a uşura tangentarea orizontului, se pune din tambur o înălţime ceva mai mare decât cea existentă şi se aşteaptă – pendulând sextantul, până când imaginea dublu reflectată a astrului tangentează orizontul. Se procedează invers, când astrul este în emisfera vestică şi înălţimea lui scade; se pune

din tambur o înălţime ceva mai mică decât cea existentă şi se aşteaptă – pendulând sextantul, până când imaginea dublu reflectată a astrului tangentează orizontul.

Înălţimea ochiului pentru executarea observaţiilor se alege funcţie de starea mării şi a atmosferei:

– când marea este agitată şi atmosfera clară, se recomandă ca observaţiile să se facă dintr-un loc situat cât mai sus la bord, pentru a depărta orizontul;

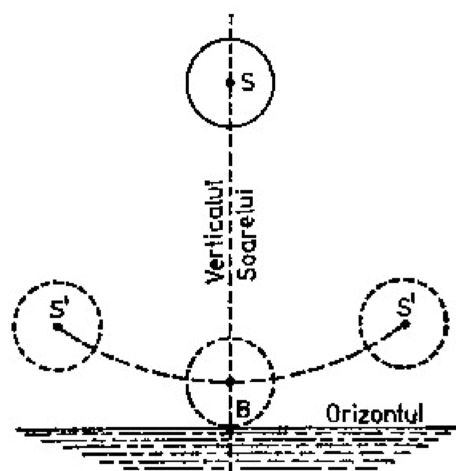


Fig. 20-9

– când marea este calmă şi atmosfera puţin clară, locul observaţiei se alege cât mai jos, pentru a apropia orizontul.

Pentru utilizarea înălţimii astrului la determinarea poziţiei navei, în momentul măsurării ei, deci în momentul tangentării imaginii dublu reflectate cu orizontul, se citeşte ora cronometrului (contorului) în ordinea secunde, minute, ore.

§4 Corectarea înălţimilor măsurate cu sextantul deasupra orizontului vizibil

Înălţimea unui astru măsurată cu sextantul deasupra orizontului vizibil în modul arătat mai sus la §3 se numeşte *înălţime instrumentală hi;* ea poate fi definită ca unghiul din planul verticalului astrului cu vârful în ochiul observatorului, măsurat între direcţia în care se văd astrul şi orizontul vizibil.

Înălţimea instrumentală hi se transformă în *înălţime observată ho* prin corectarea ei în funcţie de *eroarea indicelui* ε al sextantului, după relaţia algebrică:

$$ho = hi + \varepsilon$$

Înălţimea observată ho poate fi definită ca unghiul din planul verticalului astrului, cu vârful în ochiul observatorului, format între tangentele a două curbe de refracţie: curba de refracţie pe care ajung la observator razele de lumină de la astru, sub influenţa refracţiei astronomice şi curba pe care ajung razele de lumină de la orizontul vizibil, sub efectul refracţiei terestre.

Pentru determinarea punctului navei prin procedee astronomice este necesară cunoaşterea *înălţimii adevărate ha, unghiul în planul verticalului astrului, cu vârful*

în centrul Pământului, format între direcţia la centrul astrului şi orizontul astronomic.

Înălţimea observată ho a unui astru se transformă în *înălţime adevărată ha* prin aplicarea următoarelor corecţii:

– depresiunea orizontului vizibil;
– refracţia astronomică;
– paralaxa;
– semidiametrul.

Această operaţie este denumită în navigaţie *corectarea înălţimilor.*

1 Depresiunea orizontului vizibil

Considerăm ochiul observatorului în 0, la înălţimea *i* deasupra nivelului mării şi un astru *A* (fig. 20-10); punctul *B* este intersecţia dintre planul verticalului astrului şi orizontul vizibil. Sub efectul refracţiei terestre (vezi cap. 2, § 3), o rază de lumină care pleacă din B ajunge în ochiul observatorului *O* pe *curba de refracţie terestră BO,* care are concavitatea spre Pământ şi este conţinută în planul verticalului astrului.

Observatorul vede punctul *B* de pe orizont pe direcţia *OB'*, determinată de tangenta la curba de refracţie în ochiul observatorului *O*.

Unghiul format între direcţia *OB'* în care se vede orizontul şi planul orizontului adevărat al observatorului *HH'* se numeşte *depresiunea orizontului vizibil (Depr.)* În anumite condiţii de refracţie terestră, depresiunea orizontului vizibil este funcţie de înălţimea ochiului observatorului *i;* exprimând pe *i* în metri, valoarea depresiunii orizontului, în minute de arc, este dată de relaţia:

Depr. = 1.77 $\sqrt{i}$

În navigaţie, depresiunea orizontului se obţine din *tablele nautice,* în funcţie de înălţimea ochiului observatorului; astfel este *tabla 11-b (MT-53)* şi tabla *„Dip of sea horizon"* din BNA.

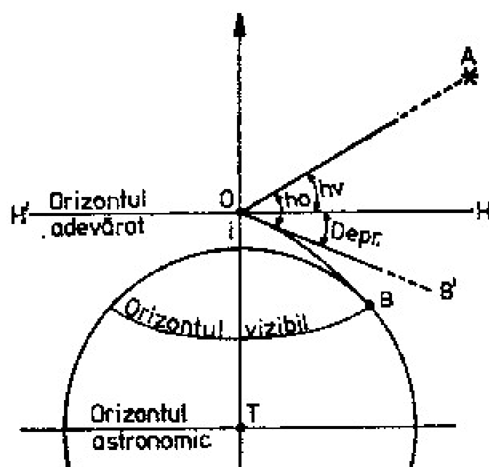


Fig. 20-10

Înălţimea observată ho a astrului *A* este exprimată de unghiul *AOB'* = *ho.*

Înălţimea astrului deasupra orizontului adevărat al observatorului $\sphericalangle AOH = hv$ se obţine din egalitatea:

$$hv = ho - \text{Depr.} \qquad (20\text{-}3)$$

Corecţia de depresiune a orizontului vizibil are deci *semnul minus.*

Tablele de navigaţie care dau depresiunea orizontului funcţie de înălţimea ochiului observatorului sunt întocmite pentru condiţii de refracţie terestă medie.

2 Refracţia astronomică

Raza de lumină care vine de la un astru A se propagă în linie dreaptă până la contactul (în M) cu atmosfera terestră (fig. 20-11). În atmosferă, având de străbătut straturi de aer cu o densitate din ce în ce mai mare, raza de lumină se refractă apropiindu-se de normală, astfel că traiectoria descrisă ia forma unei curbe cu concavitatea spre Pământ. Propagarea curbilinie a razei de lumină până în ochiul observatorului O, pe *curba de refracţie astronomică MO,* face ca astrul A să fie văzut pe direcţia OA', determinată de tangenta la această curbă în O.

Considerând Pământul sferic şi straturile atmosferice de diferite densităţi concentrice cu sfera terestră, toate normalele la aceste straturi în punctele de incidenţă ale razei de lumină trec prin centrul sferei (ex. MT), confundându-se cu verticalele acestor puncte; deci, *traiectoria unei raze de lumină sub efectul refracţiei astronomice se menţine în planul verticalului astrului* (determinat de O, A şiT).

Grosimea atmosferei terestre fiind neglijabilă în raport cu distanţa la astrul A, se consideră că *unghiul de refracţie astronomică* ρ este reprezentat de unghiul $A'OA''$, între tangenta OA' la curba de refracţie în ochiul observatorului (direcţia în care se vede astrul) şi paralela OA'' dusă prin O la direcţia razei de lumină AM, care vine de la astru.

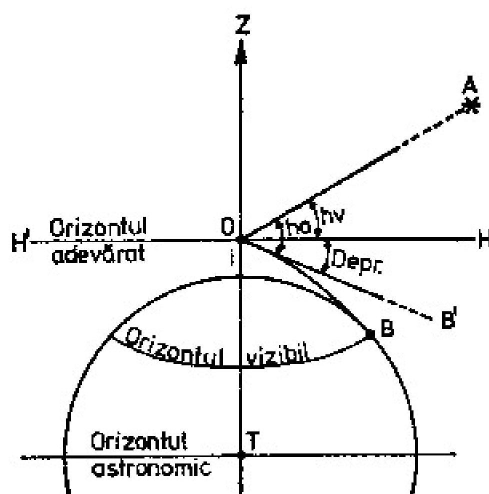


Fig. 20-11

Înălţimea h determinată de direcţia la astru faţă de orizontul adevărat al observatorului se obţine din relaţia:

$$h = hv - \rho. \tag{20-4}$$

Corecţia de refracţie astronomică ρ are deci *semnul minus; hv* reprezintă înălţimea observată $A'OH$ faţă de orizontul adevărat.

Unghiul de refracţie astronomică este maxim ($\rho \cong 35'$) când astrul se află la orizont, scade cu înălţimea astrului şi devine zero când astrul se vede în zenit.

O rază de lumină care vine de la un astru aflat aproape de orizont se menține mai mult timp în contact cu straturile inferioare ale atmosferei, inegal încălzite de radiațiile terestre și cu o densitate ridicată. Unghiul refracției astronomice în asemenea condiții poate avea variații apreciabile și determinarea ei este incertă. *De aceea se recomandă ca la determinarea punctului navei, aștrii observați să nu aibă înălțimi mai mici de 10°.*

Pentru aceeași înălțime a astrului, unghiul de refracție astronomică variază în funcție de temperatura și presiunea atmosferică, factorii principali care determină densitatea straturilor de aer.

Tabla 12 din *Tabla Nautică MT-53* dă refracția astronomică medie pentru temperatura de +10°C și presiunea atmosferică de 760 mm, în funcție de înălțimea *hv* a astrului deasupra orizontului adevărat. În cazul când condițiile de temperatură și presiune atmosferică din momentul observației diferă apreciabil de cele în funcție de care este calculată *tabla 12, tabla 14-a* dă posibilitatea aplicării unei corecții Δh_t în funcție de temperatură și înălțimea astrului; *tabla 14-b* exprimă corecția Δh_B, în funcție de presiunea atmosferică și înălțimea astrului. Semnul corecțiilor este cel indicat în table.

Exemplu. Înălțimea observată la un astru *ho* = 16°25′, i = 8 m, temperatura aerului = +30°C, presiunea atmosferică = 745 mm. Să se afle înălțimea *h* deasupra orizontului adevărat.

a – Calculul lui h

ho = 16°24′
+Depr = – 5...T.11-b
hv = 1620

+ρ = – 2.8
h = 16°17′.2

b – Calculul lui ρ

ρ med. = – 3′.2...*T*.12
Δh_t = + 0.3...*T*.14-a
Δh_B = + 0.1...*T*.14-b
ρ = –2′.8

Refracția medie, în minute de arc, poate fi obținută și din BNA, tabla „*Mean refraction in minutes*".

3 Paralaxa

Considerăm observatorul în *O* și un astru *A*, aflat la distanța *d* de centrul Pământului *T*,considerat sferic (fig. 20-12). Unghiul sub care se vede raza Pământului *R* din centrul astrului *A* se numește *paralaxă de înălțime* (π′).

Ducând paralela *TA″* prin centrul Pământului la direcția *Oa*la astru și notând cu *h* înălțimea astrului în *O* deasupra orizontului adevărat al observatorului, respectiv *ha* înălțimea aceluiași astru în centrul Pământului deasupra orizontului astronomic, rezultă că:

$$ha = h + \pi' \tag{20-5}$$

Corecția paralaxei de înălțime a astrului are deci *semnul pozitiv*.

Din triunghiul AOT se obține relația care se exprimă paralaxa de înălțime:

$$\frac{\sin \pi'}{R} = \frac{\sin (90° + h)}{d}$$

de unde:

$$\sin \pi' = \frac{R}{d} \cos h$$

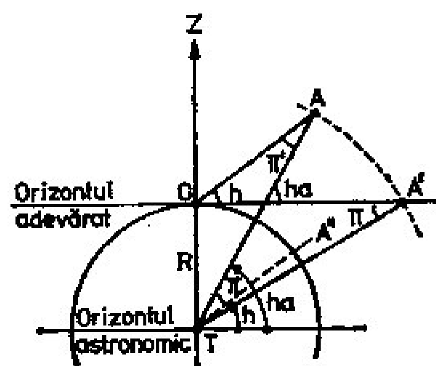


Fig. 20-12

Paralaxa este deci funcție de distanța de astru, iar la același astru variază odată cu înălțimea lui; este zero când astrul se află în zenit și ia valoarea maximă la trecerea lui prin orizontul adevărat, când este denumită *paralaxă orizontală* ($\sphericalangle OA'T = \pi$), exprimată de relația:

$$\sin \pi = \frac{R}{d}$$

Din ultimele două expresii se obține:

$$\sin \pi' = \sin \pi \cos h$$

și deoarece paralaxa ia valori mici:

$$\pi' = \pi \cos h \qquad (20\text{-}6)$$

formulă după care se calculează corecția de paralaxă pentru Soare și planete.

În considerațiile făcute mai sus Pământul s-a considerat sferic, paralaxa orizontală a unui astru fiind o constantă pentru orice punct terestru.

În cazul Lunii, astrul cel mai apropiat, pentru determinarea paralaxei, Pământul se consideră de forma unui elipsoid de revoluție. Valoarea maximă a paralaxei în această ipostază se obține când Luna este văzută la orizont dintr-un loc situat la ecuatorul terestru, deoarece raza ecuatorială este egală cu semiaxa mare a elipsoidului. Notând cu R_0 raza ecuatorială a elipsoidului terestru și cu π_0 *paralaxa ecuatorială* a Lunii, aceasta este exprimată de egalitatea:

$$\sin \pi_0 = \frac{R_0}{d},$$

valoarea ei fiind dată în efemeridele nautice în funcție de timpul mediu la Greenwich (în BNA notată cu H.P. „horizontal parallax“, vezi anexa II).

Paralaxa de înălțime a Lunii este dată de relația:

$$\sin \pi' = \sin \pi_0 \cos h.$$

Deoarece distanţa la aştrii sistemului solar nu este constantă, paralaxa variază invers cu distanţa.

Paralaxa stelelor este neglijabilă; la fel şi pentru planetele depărtate. Valoarea medie a paralaxei orizontale a aştrilor sistemului solar, cu importanţă în navigaţie, este: 57′ pentru Lună (valorile extreme 52′ şi 62′); 8″.8 pentru Soare; 18″ pentru Venus; 12″ pentru Marte şi 2′ pentru Jupiter.

În navigaţia astronomică, corecţia de paralaxă se aplică pentru Soare, Lună şi uneori la planete.

Paralaxa de înălţime a Soarelui este conţinută în BNA, tabla *„Sun's parallax in altitudine"*.

Paralaxa de înălţime a Lunii este dată în tabla *„Parallax in altitudine of the Moon"*.

4 Semidiametrul

Înălţimea Soarelui şi a Lunii se măsoară prin tangentarea bordului inferior $\underline{O}$ sau a bordului superior $\overline{O}$ a discului solar sau lunar cu orizontul vizibil. *Semidiametrul d* al unui astru (fig. 20-13) este unghiul sub care se vede raza acestuia din centrul Pământului.

Aşa după cum rezultă din figura 20-13, dacă înălţimea s-a măsurat la bordul inferior $ha\underline{O}$, înălţimea adevărată *ha* la centrul astrului faţă de orizontul astronomic se obţine *adunând* corecţia de semidiametru:

$$ha\Theta = ha\underline{O} + d \tag{20-8}$$

iar dacă observaţia s-a efectuat la bordul superior, corecţia de semidiametru se scade:

$$ha\Theta = ha\underline{O} - d \tag{20-8'}$$

Semidiametrul Soarelui variază între 15′.75 şi 16′.3, valoarea medie anual fiind de 16′.

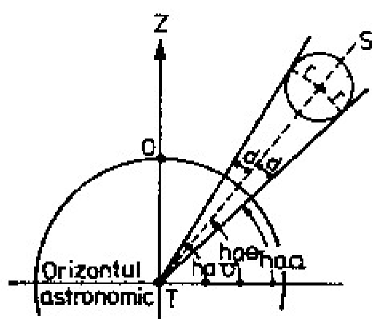


Fig. 20-13

Semidiametrul Lunii are variaţii între 14′.7 şi 16′.7, cu o valoare medie de 15′.5.

Semidiametrul planetelor este neînsemnat, astfel că se neglijează la corectarea înălţimilor.

Valoarea semidiametrului aparent al Soarelui şi Lunii este conţinută în tablele zilnice ale efemeridei; în BNA, semidiametrul Soarelui şi Lunii este dat cu notaţia „S.D." (semi-diameter).

În plus, semidiametrul Soarelui mai este dat și în *tabla 13-a a Tabelelor Nautice MT-53*, în funcție de dată.

Datorită faptului că unghiul refracției astronomice este diferit pentru bordul inferior și respectiv bordul superior al Soarelui și Lunii, fiind mai mare în primul caz, diametrul aparent vertical este mai mic decât cel orizontal, fenomenul este cunoscut sub denumirea de *turtirea* Soarelui sau Lunii. Această turtire este maximă când astrul este în orizont, la răsărit și apus, putând lua valori de ordinul a câteva minute, ușor sensibil cu ochiul liber, scade la o mărime medie de 8″ la o înălțime de 10° deasupra orizontului vizibil și devine neglijabilă la înălțimi superioare.

De aceea, este indicat a se evita măsurarea înălțimilor la Soare și Lună sub 10°.

5 Corecția înălțimilor Soarelui

Din cele arătate mai sus rezultă că înălțimea adevărată a centrului discului solar deasupra orizontului astronomic este dată de relația:

$$ha = hi \pm \varepsilon - \text{Depr.} - \rho + \pi' \pm d \qquad (20\text{-}9)$$

Tabla 8 din *Tablele Nautice MT-53* dă suma algebrică a următoarelor corecții: depresiunea orizontului, refracția astronomică medie (pentru temperatura aerului de +10°C și presiunea atmosferică de 760 mm), paralaxa de înălțime și semidiametrul mediu. Această *corecție totală* („cor.I“) se obține în funcție de înălțimea observată a Soarelui și înălțimea ochiului observatorului, în metri.

Tabla 8-a conține *corecția suplimentară* („cor.II“) de aplicat la înălțimile la bordul inferior pentru variația semidiametrului Soarelui, în funcție de luna calendaristică a observației.

Tabla 8-b dă corecția pentru înălțimile la bordul superior al Soarelui, în funcție de data observației.

În BNA, *corecția totală* („cor. I“) pentru observațiile la bordul inferior (lower limb) la Soare este dată în tabla *„For correcting the observed altitude of the Sun's lower limb“*, în funcție de înălțimea observată *(„Obs. Alt“)* și înălțimea ochiului observatorului, în picioare *(„Height of the eye above the sea in feet“)*.

Corecția pentru variația semidiametrului („Cor. II“) se extrage din tabla *„Month Correct'n“*.

Exemplu. În ziua de 10 iunie 1973 s-a măsurat la bordul inferior al Soarelui $hi\underline{\odot} = 62°20'.6$; $\varepsilon = +\,1'.4$; $i = 10$ m. Se cere înălțimea adevărată.

Rezolvare:

$hi = 62°20'.6$
$+\varepsilon = +\quad 1.4$

$ho = 62\ 22.0$
$+$ Cor. I $= +\,9.9$ .... *T.*8 (în funcție de *ho* și *i*).
Cor. II $= -\,0.2$ .... *T.*8-a pentru luna iunie

$ha = 62°31'.7$

Când condițiile de temperatură și presiune atmosferică din momentul observației diferă apreciabil față de cele medii, în funcție de care sunt întocmite *tablele de corecții totale*, îndeosebi în cazul înălțimilor mici (sub 30°), se recomandă corectarea înălțimilor cu *tablele de corecții parțiale* (indicate mai sus la punctele 1, 2, și 4). În acest caz, suma *refracției astronomice medii* (ρ med.) și a *paralaxei de înălțime* este dată de *tabla 13*.

Exemplu. În ziua de 10 noiembrie 1973 se măsoară la Soare $hi☉$ = 15°07′, ε = –1′; i = 7 m; temperatura aerului –15°C; presiunea atmosferică 775 mm. Se cere înălțimea adevărată.

Rezolvare:

$hi☉$ = 15°07′
+ ε = –1
ho = 15 08
+ Depr. = – 04.7 .... *T.*11-b
hv = 15 01.3
+ (ρ med + π′) = – 03.4 .... *T.*13
Δh_t = – 0.4 .... *T.*14-a (corecție pentru temperatură)
Δh_B = – 0.1 .... *T.*14-b (corecție pentru presiune)
$ha☉$ = 14 57.4
+ d = + 16.2 .... din efemeridă (sau *T.*13-a)
$ha\theta$ = 14 57.4

6 Corectarea înălțimilor stelelor și planetelor

Înălțimea adevărată a stelelor se obține din relația:

$$ha = hi \pm \varepsilon - \text{Depr.} - \rho \qquad (20\text{-}10)$$

În condiții de refracție astronomică diferite de cea medie, când înălțimea stelelor este mică (sub 39′), se recomandă utilizarea *tablelor de corecții parțiale* (așa cum s-a arătat la punctul 5); refracția medie este dată de *tabla 12 (MT-53)*.

Când condițiile de temperatură și presiune atmosferică sunt normale, se utilizează *tabla 9 (MT-*35), care conține suma algebrică a depresiunii și a refracției astronomice medii; corecția se obține funcție de înălțimea observată a stelei și înălțimea ochiului observatorului *i*.

Exemplu. În ziua de 10 noiembrie 1973 se măsoară hi = 21°51′.4 la *Capella* (α Aurigae); i = 10 m; ε = +1.1. Se cere înălțimea adevărată.

Rezolvare:

hi = 21°51′.4
+ ε = + 1.1
ho = 21 52.5
+ Cor. = – 8.1 .... *T.*9
ha = 21°44′.4

O serie de efemeride nautice, între care cea conținută în BNA, nu mai conțin paralaxa orizontală a planetelor, care în general are valori mici, neglijabile. În

acest caz, corectarea înălţimilor planetelor se face în mod indicat mai sus pentru stele.

Dacă la bord se utilizează o efemeridă care conţine paralaxa orizontală a planetelor, înălţimea adevărată a acestora poate fi calculată din relaţia:

$$ha = hi + \varepsilon - \text{Depr.} - \rho + \pi' \qquad (20\text{-}10)$$

În acest caz, corecţia paralaxei de înălţime π' se obţine din *tabla 9-a (MT-53)* în funcţie de paralaxa orizontală a planetei.

Tabla *„For correcting the observed altitude of a fixed star to find the true altitude"* din BNA exprimă corecţia totală de depresiune şi refrecţie astronomică medie pentru stele şi planete, în funcţie de înălţimea ochiului observatorului, în picioare şi înălţimea observată.

7 Corectarea înălţimilor Lunii

Înălţimea adevărată a Lunii se obţine prin aplicarea formulei (20-9). *Corecţia totală* („Cor.") care însumează refracţia astronomică medie, paralaxa de înălţime şi semidiametrul, pentru înălţimile Lunii la bordul inferior *(lower limb)* este dată în *tabla 10-a* (MT-53) şi în BNA, tabla *„Correction for the observed altitude of the Moon's lower limb"*, în funcţie de înălţimea observată *(Obs. Alt.)* şi paralaxa orizontală ecuatorială.

Corecţia totală pentru înălţimile observate la bordul superior al Lunii este conţinută în *tabla 10-b (MT-53)* şi în BNA, tabla *„Correction for the observed altitude of the Moon's upper limb"*.

Pentru obţinerea înălţimii adevărate *ha* a centrului Lunii faţă de orizontul astronomic, mai trebuie să se aplice corecţia de depresiune a orizontului, dată de *tabla 11-b (MT-53)* sau de tabla *„Dip correction"* din BNA.

Exemplu. În ziua de 10 noiembrie 1973 se măsoară la bordul inferior al Lunii $hi * = 40°15'$; $Tm = 17^h02^m00^s$; $\varepsilon = +1'$; $i = 16$ m. Se cere înălţimea adevărată.

Rezolvare:

Paralaxa orizontală în ziua de 10.11.73, $Tm = 17^h02^m$ ...$\pi_0 = 60'.0$ (vezi anexa 1).

Calculul ha

$hi* = 40°15'$
$+\varepsilon = +1$
$ho = 40\ 16$
$+$ Depr. $= -7$............. .... *T.*11-*b* (pentru $i = 16$ m)
$hv = 40\ 09$
$+$ Cor. $= +1\ 01.2$.... .... *T.*10-*a* (funcţie de hv şi π_0)
$ha = 41°10'.2$

În cazul în care temperatura şi presiunea atmosferică sunt apreciabil diferite de cele pentru care sunt întocmite tabelele 10-a şi 10-b (temperatura +10°C şi presiunea 760 mm), se aplică corecţia Δh_t pentru temperatură *(tabla 14-a, MT-53)* şi Δh_B pentru presiune *(tabla 14-b)*.

21 IDENTIFICAREA AŞTRILOR

§1 Generalităţi despre aştri utilizaţi în navigaţie

Dintre nenumăraţii aştri răspândiţi în spaţiu, navigatorul foloseşte pentru determinarea poziţiei navei un număr restrâns, pe cei ce pot fi observaţi cu uşurinţă şi anume: *Soarele* şi *Luna;* planetele *Venus, Marte, Jupiter* şi *Saturn; stelele cele mai luminoase.*

Recunoaşterea rapidă şi sigură a planetelor şi stelelor utilizate în navigaţie constituie o obligaţie profesională a fiecărui navigator.

Stelele fiind aştri ficşi pe sfera cerească, pot fi reprezentate pe *hărţi* sau *globuri cereşti,* care facilitează considerabil învăţarea lor şi oferă posibilitatea unei identificări comode.

Planetele având o mişcare aparentă proprie printre stele, nu pot fi identificate prin aceleaşi metode. Pentru recunoaşterea lor pe sfera cerească, la un moment dat, se oferă două metode: trecerea poziţiei planetelor pe un *glob ceresc* sau *hartă,* printre stele, folosind coordonatele lor ecuatoriale pentru momentul observaţiei şi aplicarea metodelor de identificare ca la stele; recunoaşterea prin observaţie, cu ochiul liber, ceea ce este uşor de realizat, dat fiind numărul lor redus.

Criteriul principal pentru distingerea unei stele faţă de o planetă, oferit de observaţia cu ochiul liber sau, mai sigur, cu binoclul, în caz de dubiu, este felul luminii primite de la cele două corpuri cereşti: lumina stelei scânteiază, pe când a planetei este constantă.

Fenomenul de *scânteiere* a stelelor, care constă în variaţia intensităţii luminoase şi a nuanţei culorii luminii, este generat de atmosferă. Straturile atmosferei terestre au temperaturi, densităţi şi stări higrometrice diferite; în plus, îndeosebi straturile inferioare sunt într-o continuă mişcare. Ca urmare, de la un moment la altul, raza de lumină care vine de la o stea este refractată inegal, provocând fenomenul de scânteiere. Scânteierea aceleiaşi stele diferă, astfel:

– în zilele cu vânt este mai intensă decât în cele cu calm;

– este mai intensă când steaua se află la orizont şi descreşte cu înălţimea;

– în zonele ecuatoriale şi tropicale, unde în general atmosfera este mai calmă, scânteierea stelelor este mai puţin intensă, astfel că la înălţimi mari fenomenul se distinge cu dificultate. Intensitatea scânteierii creşte cu latitudinea.

Operaţia de identificare a unui astru, în practica navigaţiei, poate să prezinte două aspecte:

– aflarea numelui unui astru observat, necunoscut. O asemenea problemă se poate pune chiar pentru un navigator cu experienţă, bun cunoscător al aştrilor, în

situația când astrul observat a fost văzut izolat, de exemplu, printr-o „spărtură de nori";

– găsirea pe sfera cerească a unui astru cunoscut. În practica navigației, această problemă este de mare importanță la executarea observațiilor în timpul crepusculului de seară, pentru găsirea aștrilor celor mai luminoși pe sfera cerească, de nume cunoscute, în scopul măsurării înălțimii lor la un interval de timp cât mai scurt după apusul Soarelui, astfel ca orizontul vizibil să se mențină bine conturat.

§2 Identificarea planetelor

Cele patru planete, Venus, Marte, Jupiter, Saturn și, în mod deosebit, Venus și Jupiter, sunt folosite în mod frecvent în navigația astronomică, deoarece prin luminozitatea lor oferă condiții comode de observație. Identificarea planetelor se poate face cu ușurință prin cunoașterea unor reguli generale de deosebire a lor față de stele și a unor criterii particulare de identificare a fiecărei planete în parte.

1 Distingerea planetelor față de stele

Așa cum s-a arătat mai sus, lumina planetelor este constantă, pe când stelele scânteiază.

Privind bolta înstelată cu un binoclu, se constată că stelele au aspectul unor puncte luminoase, iar planetele au un contur regulat, în forma unui disc luminos.

Stelele își mențin pozițiile relative, fapt care explică existența *constelațiilor.* Planetele au o mișcare aparentă proprie printre stele, ceea ce a determinat atribuirea denumirii lor din antichitate, de *„aștri rătăcitori".* Aceste mișcări aparente ale planetelor pe sfera cerească se mențin însă în apropierea eclipticii (vezi cap. 17,§ 5), de aceea ele trebuie căutate în dreptul celor 12 *constelații zodiacale,* care nu au decât patru stele de mărimea întâi și anume: *Aldebaran* din constelația *Taurul, Regulus* din *Leul, Spica* din *Fecioara* și *Antares* din *Scorpionul,* toate acestea fiind ușor de recunoscut.

Venus, ca *planetă inferioară,* se menține relativ aproape de Soare și se deplasează succesiv în dreptul constelațiilor zodiacale în mai puțin de un an.

Marte, Jupiter și *Saturn,* ca *planete superioare,* ocupă poziții foarte diferite în raport cu Soarele. Jupiter și Saturn, fiind mai depărtate de Soare, au o mișcare aparentă mai lentă printre stele, parcurgând aproximativ două constelații zodiacale în decurs de un an.

BNA conține informații lunare la capitolul *„Planetary information",* privind pozițiile planetelor vizibile și condițiile lor de observație pentru anul editării, inclusiv pentru *Mercur.* Consultarea acestor informații este deosebit de utilă în practica navigației pentru identificarea cu ușurință a planetelor.

2 Recunoașterea planetelor folosite în navigație

Venus este cel mai strălucitor astru de pe cer, de 12 ori mai luminoasă decât *Sirius,* cea mai strălucitoare stea; ea poate fi văzută uneori chiar cu ochiul liber pe

timpul zilei, oferind condiţii favorabile de observaţie pentru determinarea poziţiei navei împreună cu Soarele sau cu Luna.

Se vede ca *luceafăr de seară* sau ca *luceafăr de dimineaţă*, apunând după Soare şi, respectiv, răsărind înaintea Soarelui ca un interval de timp ce variază până la 3^h08^m, care corespunde *digresiunii maxime* de 47°.

Jupiter este de culoare albă-argintie, ca o strălucire apropiată de cea a stelei *Sirius*, uneori chiar mai luminoasă. Privită cu binoclul, se disting cei patru sateliţi principali ai săi: *Io, Europa, Ganimede* şi *Callisto.*

Forma şi strălucirea planetelor Venus şi Jupiter fac ca identificarea lor pe sfera cerească, prin observaţie, să fie uşoară şi practic fără posibilităţi de confuzie.

Marte are lumina roşiatică, iar *Saturn*, albă-gălbuie; prin observaţie, după culoare, ele pot fi confundate cu *Aldebaran* sau *Antares,* dintre stelele constelaţiilor zodiacale. De aceea, pentru aceste două planete, se recomandă urmărirea lor în timp şi identificarea în raport de stele (sau constelaţiile) cunoscute cele mai apropiate.

§3 Identificarea stelelor

Din cele mai vechi timpuri, stelele vizibile de pe cer sunt grupate în constelaţii, cu un nume propriu (de exemplu, *Ursa Major, Orion, Corona borealis* etc.); stelele fiecărei constelaţii au numele astronomic format din literele alfabetului grec, în ordinea luminozităţii *(mărimii)* lor aparente, urmat de denumirea constelaţiei. Stelele principale au şi nume proprii, în general în origine arabă. Astfel, stelele constelaţiei *Andromeda* au numele: α *Andromedae („Alpheratz“)*, β *Andromedae („Mirach“)* şi γ *Andromedae („Almak“).*

Gradul de strălucire aparentă a unei stele se numeşte *mărime stelară* sau *magnitudine.* Raportul de strălucire aparentă dintre stelele a două *mărimi* consecutive este egal cu 2.512; astfel, o stea de mărimea a 2-a este de 2.512 ori mai puţin strălucitoare decât stelele de mărimea 1. Stelele care sunt la limita vizibilităţii cu ochiul liber sunt de mărimea 6.

Steaua cea mai strălucitoare de pe cer este *Sirius* (mărimea –1.6), urmată de *Canopus* (–0.9), ambele în emisfera cerească sudică şi *Vega* (+0.1), cea mai luminoasă stea din emisfera nordică.

Între cele aproximativ 6000 de stele vizibile cu ochiul liber, în navigaţie se folosesc, în mod curent, aproximativ 30, cele mai strălucitoare dintre ele. BNA dă coordonatele ecuatoriale a 57 de stele principale în *tablele zilnice* ale efemeridei şi a 173 de stele la capitolul *„Stars“*, între care sunt incluse şi cele 57.

În mod normal, observaţiile se fac la stele până la mărimea 2 şi, numai în cazuri rare, când cerul este parţial acoperit, se folosesc şi stele până la mărimea 3.

Identificarea stelelor în navigaţie se face astfel:

– *prin calcul,* determinând coordonatele lor ecuatoriale şi stabilind numele stelei cu ajutorul efemeridei;

– *cu navisfera,* instrument aflat în dotarea navelor noastre, a cărui utilizare trebuie să fie familiară fiecărui navigator;

– *recunoaşterea prin observaţie* a celor aproximativ 30 de stele folosite în mod curent în navigaţie.

Pentru identificarea unui astru prin calcul sau cu navisfera sunt necesare următoarele date: înălţimea astrului, ora cronometrului pentru momentul observaţiei, coordonatele punctului navei şi relevmentul (azimutul) la astru.

În mod obişnuit, identificarea aştrilor la bord se face cu navisfera, care asigură o rezolvare expeditivă; în lipsa unei navisfere sau a unui alt mijloc mai comod, problema se rezolvă prin calcul.

1 Identificarea prin calcul

Identificarea unui astru prin calcul constă în determinarea *unghiului* τ (= 360° – α) şi a *declinaţiei* stelei, după care se intră în efemeridă cu cele două coordonate şi se află numele stelei. În BNA, pentru a se uşura identificarea, stelele sunt redate la capitolul *„Stars"*, în ordinea crescândă a unghiului τ („S.H.A.", *sideral hour angle).*

Calculul pentru identificarea unei stele se face în următoarea succesiune:

a – se calculează timpul sideral al locului *ts* din ora cronometrului pentru momentul observaţiei şi longitudinea locului (vezi cap. 18, § 3);

b – se calculează înălţimea adevărată *ha* a astrului;

c – se calculează unghiul la zenit semicircular Z din relevmentul (azimutul) observat la astru, folosind relaţiile de transformare (15–1);

d – se calculează ascensiunea dreaptă a astrului din relaţia (18-3) : = *ts* – *t*, care se transformă în *unghi* τ = 360° – α.

Unghiul orar *t* al stelei se calculează din unghiul la pol, prin aplicarea relaţiilor (15-4).

$$\mathrm{ctg}\, P = \mathrm{tg}\, h \cos\varphi\, \mathrm{cosec}\, Z - \sin\varphi\, \mathrm{ctg}\, Z$$

Sensul unghiului la pol (spre est sau vest) este acelaşi cu al unghiului la zenit *Z;*

e – se calculează declinaţia aproximativă a stelei din φ, *Z* şi *h,* prin rezolvarea formulei (15-11):

$$\sin\delta = \sin\varphi \sin h + \cos\varphi \cos h \cos Z$$

f – se intră în efemeridă cu unghiul τ („S.H.A.") şi cu declinaţia *(„Dec.")* la capitolul *„Stars"* şi se stabileşte numele stelei la care s-a făcut observaţia.

Exemplu. În ziua de 10 noiembrie 1973, la ora cronometrului $A = 17^h06^m13^s$ se face o observaţie la o stea necunoscută: *hi* = 42°20′.2; *Ra (Az)* = 233°; φ = 44°32′ N; λ = 29°07′ E; ε = +0′.6; $(Tm - A) = -5^m10^s$; *i* = 9 m.

Se cere identificarea stelei.

Rezolvare:

a – Calculul lui ts

$A = 17^h06^m13^s$

$+(Tm - A) = -\ 05\ 10$

$Tm = 17^h01^m03^s$

10.11 pentru $Tm = 17^h$ .... Ts = 304°42′.5

variaţia pt. $\Delta Tm = 01^m\ 03^s$ .... ΔTs = 15.8

10.11 pentru $Tm = 17^h01^m03^s$ .... Ts = 304 58.3

$+\lambda$ = + 29 07.0

ts = 334°05′.3

b – Calculul lui ha

$$\begin{array}{r} hi = 42°20'.2 \\ +\varepsilon = +0.6 \\ \hline ho = 42\ 20.8 \\ +\text{Cor} = \ -6.4 \\ \hline ha = 42°14'.4 \end{array}$$

c – Calculul lui Z

$Z = 360° - 233° = \text{N } 127°\text{W}$

d = Calculul unghiului τ
Calculul unghiului la pol.

$$\text{ctg } P = \text{tg h cos } \varphi \text{ cosec } Z - \sin \varphi \text{ ctg } Z = (+x) + (+y)$$

$$\begin{array}{l} \log \text{tg } h = 9.95809 \\ \log \cos \varphi = 9.85299 \\ \log \text{cosec } Z = 0.09765 \\ \hline \log x = 9.90873 \end{array} \qquad \begin{array}{r} \log \sin \varphi = 9.84592 \\ \log \text{ctg } Z = 9.87711 \\ \hline \log y = 9.72303 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} x = +0.81046 \\ +y = +0.52849 \\ \hline \text{ctg } P = +1.33895 \\ \log \text{ctg } P = \ 0.12675 \\ P_w = \ 36°45'.3 \end{array}$$

Unghiul la pol este la vest (P_w), *deoarece unghiul la zenit este la vest* (Z = N 127°W)

Calculul lui α

$$\begin{array}{r} ts = 334°05'.3 \\ -t = 36\ 45.3 \\ \hline \alpha = 297°20' \end{array}$$

Unghiul τ = 360°– 297°20′ = 62°40′

e – Calculul declinației stelei

$$\sin \delta = \sin \varphi \sin h + \cos \varphi \cos h \cos Z = (+x) + (-y)$$

$$\begin{array}{l} \log \sin \varphi = 9.84592 \\ \log \sin h = 9.82753 \\ \hline \log x = 9.67345 \end{array} \qquad \begin{array}{r} \log \cos \varphi = 9.85299 \\ \log \cos h = 9.86951 \\ \log \cos Z = 9.77946 \\ \hline \log y = 9.50196 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} x = +0.47146 \\ +y = -0.31766 \\ \hline \sin \delta = +0.15380 \\ \log \sin \delta = \ 9.18696 \\ \delta = + \ 8°51' \end{array}$$

Se intră în efemerida BNA la capitolul *„Stars" cu unghiul* τ = 62°40′ pe coloana „S.H.A." și declinația (Dec.") δ = 8°51′ N și se stabilește numele stelei observate: *Altair (α Aquilae).* Coordonatele exacte ale stelei *Altair* în noiembrie 1973 sunt: *unghiul* τ = 62°37′.3; δ = 8°48′.1 N.

Identificarea prin calcul a planetelor se efectuează în același mod, cu excepția că unghiul orar *t* al planetei (obținut din unghiul calculat prin rezolvarea formulei 15-16) se transformă în unghi orar la Greenwich *T*, din relația 18-2): $T = t - \lambda$.

Se intră în efemeridă la tabla zilnică a datei observației cu *T* și δ astfel calculate și se află numele planetei.

Utilizarea tablelor ABC pentru calculul unghiului la pol și al declinației.

Tablele ABC, conținute într-o serie de *table nautice (Norie's, Tavole Nautiche* etc.) folosite la bordul navelor noastre, a căror bază teoretică și mod de utilizare sunt prezentate la capitolul 15, § 3, punctele 5 și 6, reduc considerabil durata calculului unghiului la pol și declinației.

Exemplu. Se dau aceleași date ca la exemplul de mai sus. Succesiunea calculului este aceeași, cu excepția că P și δ se calculează cu tablele ABC, astfel:

a – se calculează timpul sideral al locului $ts = 334°05'.3 \cong 334°.1$;

b – se calculează înălțimea adevărată $ha = 42°14'.4$;

c – se calculează unghiul la zenit semicircular $Z = N\ 127°W$, din relevmentul observat la astru $Ra = 233°$;

d – Calculul unghiului τ

Calculul unghiului la pol (cu tablele ABC din φ, Z, h, vezi cap. 15, § 3, p. 5):

– în tabla A cu Z și h .... $A = +\ 11.4$

– în tabla B cu Z și φ .... $+B = +\ 7.4$

$C = +\ 18.8$

– în tabla C cu φ și C .... $P_w = 36°.7 = t$

Observații:

A este întotdeauna pozitiv:

B este pozitiv pentru că $Z > 90°$;

$P < 90°$ pentru că C este pozitiv;

P este vestic, de același sens cu Z.

Calculul unghiului τ

$ts = 334°.1$

$-t = 36°.7$

$\alpha = 297°.4$

Unghiul $\tau = 360° - 297°.4 = 62°.6$

e – Calculul declinației (cu tablele *ABC* din φ, Z și P, vezi cap. 15, § 3, p. 6);

– în tabla C cu Z și φ .... $C = -\ 10.6$

– în tabla B cu P și φ .... $-B = -\ 13.2$

$A = +\ 2.6$

– în tabla A cu P și A .... $\delta = +\ 9°$

Observații:

C este negativ pentru că $Z > 90°$;

B este negativ prntru că $P < 90°$;

δ este pozitiv, de același semn cu φ, pentru că A este pozitiv.

Se intră în efemeridă cu unghiul $\tau = 62°.6$ și declinația δ 9°N, astfel calculate și se stabilește numele stelei: *Altair* (α Aquilae).

2 Identificarea cu navisfera

Navisfera este un instrument care constă dintr-un glob ceresc și o serie de părți ce materializează elementele principale ale sferei cerești (fig. 21-1); identificarea aștrilor se obține prin combinarea sistemului de coordonate ecuatoriale cu cele orizontale. Deși este realizată în moduri diferite, principiul folosirii navisferei este același și are următoarele părți principale:

– *sfera* (1) cu constelațiile și stele principale folosite în navigație. Pe sferă sunt reprezentanți polii cerești P_N și P_S, ecuatorul ceresc-gradat din grad în grad (respectiv din 4 în 4 minute), ecliptica, tropicele și cercurile polare; de asemenea, sunt trase 24 cercuri orare, din 15 în 15° (respectiv din oră în oră);

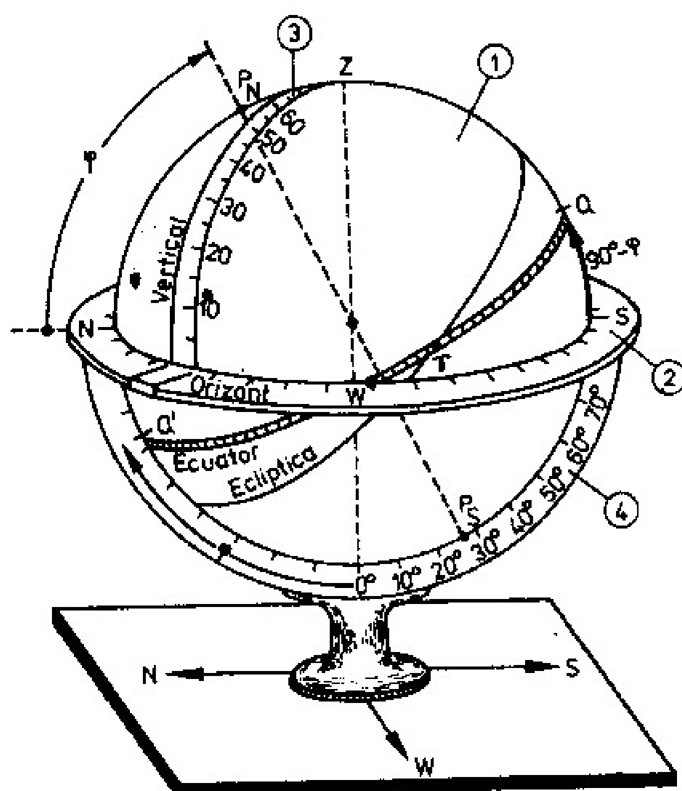


Fig. 21-1

– *cercul azimuturilor* (2), care materializează orizontul adevărat al observatorului, gradat de la 0° (cu originea în nord) la 360°, pe care sunt marcate punctele cardinale N, S, E, W;

– *semicercul înălțimilor* (3), gradat de la 0°la 90° reprezintă *zenitul*. Acest semicerc, ce materializează *verticalul* și *antiverticalul* astrului în emisfera vizibilă, se poate roti în jurul axei care reprezintă *linia zenit – nadir*. În funcție de orientare, semicercul (3) se poate reprezenta *verticalul* astrului (dacă se orientează în *azimutul* astrului) sau *meridianul ceresc al locului* (dacă este orientat pe direcția N–S).

Unele navisfere au și *semicercul medidian* (4), fix, reprezentând meridianul locului în emisfera invizibilă a observatorului; cadranul 0°–90° (N) materializează jumătatea meridianului nordic, cadranul 0°–90° (S) – jumătatea meridianului sudic al observatorului, iar gradația 0° – nadirul.

Pentru identificarea unei stele necunoscute, se procedează astfel:

a – se calculează timpul sideral al locului *ts* pentru momentul observației;

b – se orientează *semicercul înălțimilor* (3) pe direcția N–S, fixându-se la gradațiile 0° și 180° de pe cercul azimuturilor (2). În această poziție, semicercul (3) reprezintă meridianul ceresc al locului, cuprins în emisfera vizibilă a observatorului.

c – se orientează *sfera* (1) cu *polul ridicat* P_N sau P_S în dreptul gradației de pe *semicercul înălțimilor* (3) egală cu latitudinea observatorului. În acest mod, *polul ridicat* se află față de orizont, materializat prin *cercul azimuturilor* (2), la o înălțime

egală cu latitudinea. Pe latitudini nordice, polul nord ceresc al sferei se orientează deasupra gradației 0° (N) de pe cercul azimuturilor (2), iar pe latitudini sudice – polul sud deasupra gradației 180° (S);

La navisferele prevăzute cu un *semicerc meridian* (4), înălțimea polului ridicat P_N sau P_S deasupra orizontului se poate regla aducând ecuatorul ceresc al sferei (1) la dragația de pe acest semicerc (4) egală cu latitudinea observatorului, sub punctul *N* sau respectiv *S* de pe cercul azimuturilor;

d – se rotește sfera (1) în jurul axei polilor cerești, astfel ca gradația de pe ecuatorul ceresc egală cu timpul sideral al locului *ts* să fie adusă în coincidență cu semicercul (3), ca meridian superior al observatorului;

Sfera (1) astfel orientată redă imaginea sferei cerești pentru momentul observației;

e – se rotește semicercul înălțimilor (3) în dreptul gradației de pe cercul azimuturilor (2) egală cu valoarea relevmentului (azimutului) măsurat la astru în momentul observației. În această poziție, semicercul înălțimilor (2) materializează verticalul astrului.

Pe sferă (1), în sensul azimutului, în dreptul gradației de pe semicercul înălțimilor (3) egală cu înălțimea *ha*, se află steaua la care s-a făcut observația.

Exemplu. Se dau aceleași date ca la punctul 1. Identificarea astrului cu navisfera se face astfel (fig. 21–2):

a – se calculează timpul sideral al locului $ts = 334°05'.3 \cong 334°.1$;

b – se orientează *semicercul înălțimilor* (3) pe direcția N–S, ca meridian ceresc al locului, fixându-se la gradațiile 0° și 180° de pe *cercul azimuturilor* (2);

c – se orientează *sfera* (1) cu P_N (polul ridicat) la gradația $44°32' \cong 44'.5$ de pe semicercul înălțimilor (3), egală la latitudinea observatorului, deasupra punctului N (0°) de pe cercul azimuturilor (2).

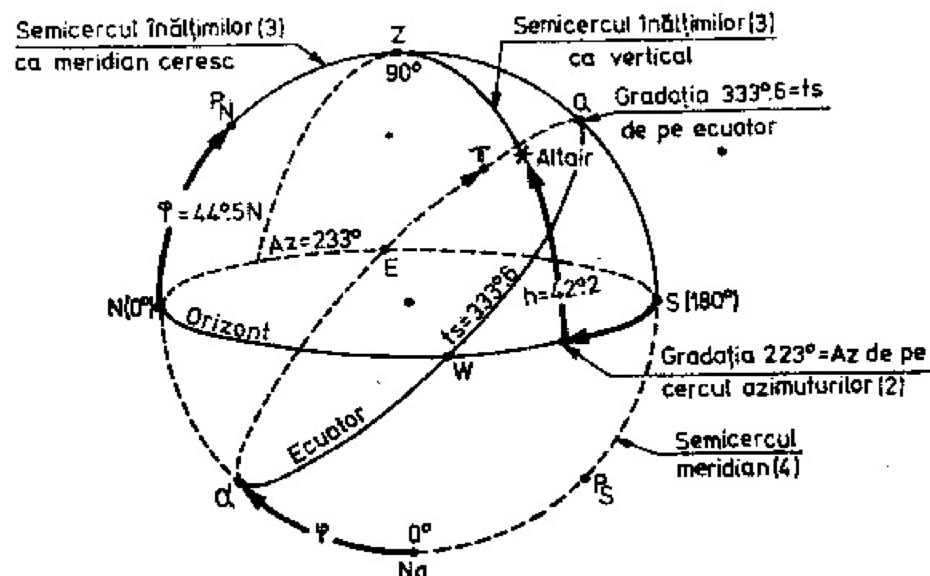


Fig. 21-2

La navisferele prevăzute cu *semicerc meridian* (4), reprezentat prin arcul *NNaS*, ecuatorul ceresc (punctul *Q'*) se aduce la gradația 44'.5 de pe acest semicerc (4), egală cu latitudinea observatorului, sub punctul *N* (0°) de pe *cercul azimuturilor* (latitudinea observatorului fiind nordică).

Astfel, sfera (1) este orizontală funcție de latitudinea observatorului;

d – se rotește sfera (1) în jurul axei polilor $P_N P_S$ astfel ca gradația 334°.1 de pe ecuatorul ceresc, reprezentând timpul sideral al locului, să fie adusă în dreptul meridianului superior (materializat prin *semicercul înălțimilor* (3).

Sfera (1) astfel orientată redă imaginea cerului înstelat pentru momentul observației;

e – se orientează *semicercul înălțimilor* (3) în relevmentul observat la astrul 233°, pe *cercul azimuturilot* (2), reprezentând astfel verticalul astrului observat.

Pe sferă (1), în azimutul astrului, în gradația 42°.2 de pe *semicercul înălțimilor* (2), egală cu înălțimea observată, se află steaua la care s-a făcut observația: *Altair* (*α Aquilae*).

În cazul în care pe sferă nu se găsește nici o stea luminoasă, rezultă că astrul observat a putut fi o planetă; asemenea situații pot să apară, practic în cazul observațiilor la Marte sau Saturn, în condițiile unui cer parțial acoperit. *Identificarea planetei* se face astfel:

– după efectuarea operațiilor *a–e*, se însemnă cu creionul pe sferă (1) poziția astrului în dreptul gradației de pe semicercul înălțimilor (3), egală cu înălțimea observată, față de care se citește ascensiunea dreaptă a astrului α (pe ecuatorul ceresc, în raport cu punctul vernal γ) și declinația δ;

– se calculează unghiul orar la Greenwich *T* al planetei din egalitățile:

$$t = ts - \alpha \text{ (relația 18-3') și}$$
$$T = t - \lambda \text{ (relația 18-2');}$$

– se intră în efemeridă la data respectivă cu unghiul orar la Greenwich *T* și cu declinația δ, astfel determinate și se stabilește numele planetei.

3 Cunoașterea stelelor principale utilizate în navigație

Recunoașterea stelelor principale utilizate în navigație, prin observație cu ochiul liber, constituie o obligație profesională a fiecărui navigator. Aceasta înseamnă o economie prețioasă de timp pe comanda unei nave, deoarece imperativul siguranței navigației reclamă rapiditate în rezolvarea problemei de poziție. Pe lângă partea frumoasă a acestei preocupări, atribut al culturii generale marinărești, experiența arată că învățarea celor aproximativ 30 de stele folosite frecvent în navigație, cu simțul dezvoltat de orientare ce caracterizează orice marinar, se poate realiza fără eforturi deosebite. De reținut pentru navigatorul de cursă lungă este faptul că el trebuie să-și familiarizeze ochiul cu aspectul cerului la diferite latitudini, urmărind zi de zi pe timpul navigației pozițiilor aștrilor în raport cu elementele sferei cerești.

La bord, pe timpul navigației și, îndeosebi, în răgazul oferit de staționările navei la ancoră, în așteptarea intrărilor în porturi, apreciez că navisfera este cel mai eficient ajutor pentru învățarea stelelor. În acest scop, *observatorul se consideră în centrul sferei (1); navisfera se orientează astfel ca să redea aspectul cerului pentru momentul observației, efectuând deci operațiunile a–d,* indicate mai sus. Se orientează *semicercul înălțimilor (3)* în drumul navei, în raport de care se identifică apoi aștrii principali (aflați în prova, pupa, traversul navei etc.). Indicații mai precise pot fi

obținute însă prin citirea azimuturilor și înălțimilor în care se văd aștrii principali; pentru aceasta, se rotește succesiv *semicercul înălțimilor* (3) începând din prova navei spre tribord, în dreptul stelelor principale de pe sfera (1) și se citește azimutul astrului *(pe cercul azimuturilor)* și înălțimea (pe semicercul înălțimilor). Ieșind apoi pe punte, lângă un compas sau un repetitor al girocompasului, pentru măsurarea azimuturilor, identificarea aștrilor – în scopul învățării lor – este foarte ușoară.

Lucrările de specialitate recomandă recunoașterea constelațiilor și a stelelor principale după *metoda aliniamentelor,* stabilită de către astronomul *Flamsteed,* indicată parțial în descrierea succintă a constelațiilor și stelelor principale redată în continuare (fig. 21-3).

Ursa Major (Carul Mare), circumpolară pe latitudinile țării noastre, este alcătuită din șapte stele, din care patru constituie roțile – *Dubhe* (2.0), *Merak* (2.4), *Phecda* (2.5), *Megrez* (3.4.) și trei, oiștea carului – *Alioth* (1.7), *Mizar** (2.2) și *Alkaid* (1.9), din vârful oiștei, cea mai luminoasă din constelație. *Ursa Major* este constelația reper pentru recunoașterea celorlalte constelații din emisfera cerească nordică.

Ursa Minor (Carul Mic), format de asemenea din 7 stele, cu *Polara* în vârful oiștei, plasată la aproximativ 1° de Polul nord ceresc. *Polara* (2.1) se află pe aliniamentul format de ultimele două roți *(Duhbe* și *Merak)* ale *Carului Mare,* spre nord, la o distanță de circa 7 ori intervalul dintre cele două stele.

Pegasus, constituită din trei stele principale – *Scheat* (2.6), *Markab* (2.6) și *Algenib* (2.9.) – care, împreună cu *Alpheratz* (2.2) din constelația *Andromeda* formează un pătrat ușor de identificat, plasat în partea opusă a emisferei nordice față de *Ursa Major,* pe aliniamentul ultimelor două roți ale acesteia.

Andromeda, legată de *Pegasus* prin *Alpheratz,* mai are două stele principale aliniate lângă aceasta: *Mirach* (2.4) și *Almak* (2.2).

Cassiopeia, în formă de *W* sau *M,* în funcție de poziția pe cer în timpul mișcării diurne, se află plasată între *Polară* și *Pegasus – Andromeda,* cu stelele principale *Caph* (2.4) și *Schedar* (2.5).

Orion, una dintre cele mai frumoase constelații de pe cer, plasată pe ecuatorul ceresc, de forma unui trapez cu vârfurile în *Rigel* (0.3), *Betelgeuse* (0.8), *Bellatrix* (1.7) și *Saiph* (2.2), având *„brâul lui Orion"* format din trei stele mai puțin luminoase decât cele patru menționate.

Canis Major (Câinele Mare), lângă *Orion,* pe linia celor trei stele din „brâu", cu steaua cea mai strălucitoare de pe cer, *Sirius* (–1.6).

Gemini (Gemenii), pe aliniamentul stelelor diagonale *Rigel și Betelgeuse* din *Orion,* cu două stele principale apropiate: *Pollux* (1.2) și *Castor* (1.6).

Canis Minor (Câinele Mic), între *Gemini* și *Canis Major,* pe aliniamentul aproximativ *Bellatrix,* în sens opus față de *Canis Major.*

Taurus (Taurul) cu steaua principală *Aldebaran* (1.1.), lângă *Orion,* în aliniamentul diagonal *Saiph – Bellatrix,* în sens opus față de *Canis Major.*

---

* Pe timpul nopților cu atmosfera clară, lângă *Mizar* se observă steaua dublă *Alcoor,* la limita vizibilității cu ochiul liber, de către persoanele cu o bună acuitate vizuală; de aceea, posibilitatea recunoașterii ei era un criteriu de verificare a vederii celor ce voiau să se angajeze ca marinari.

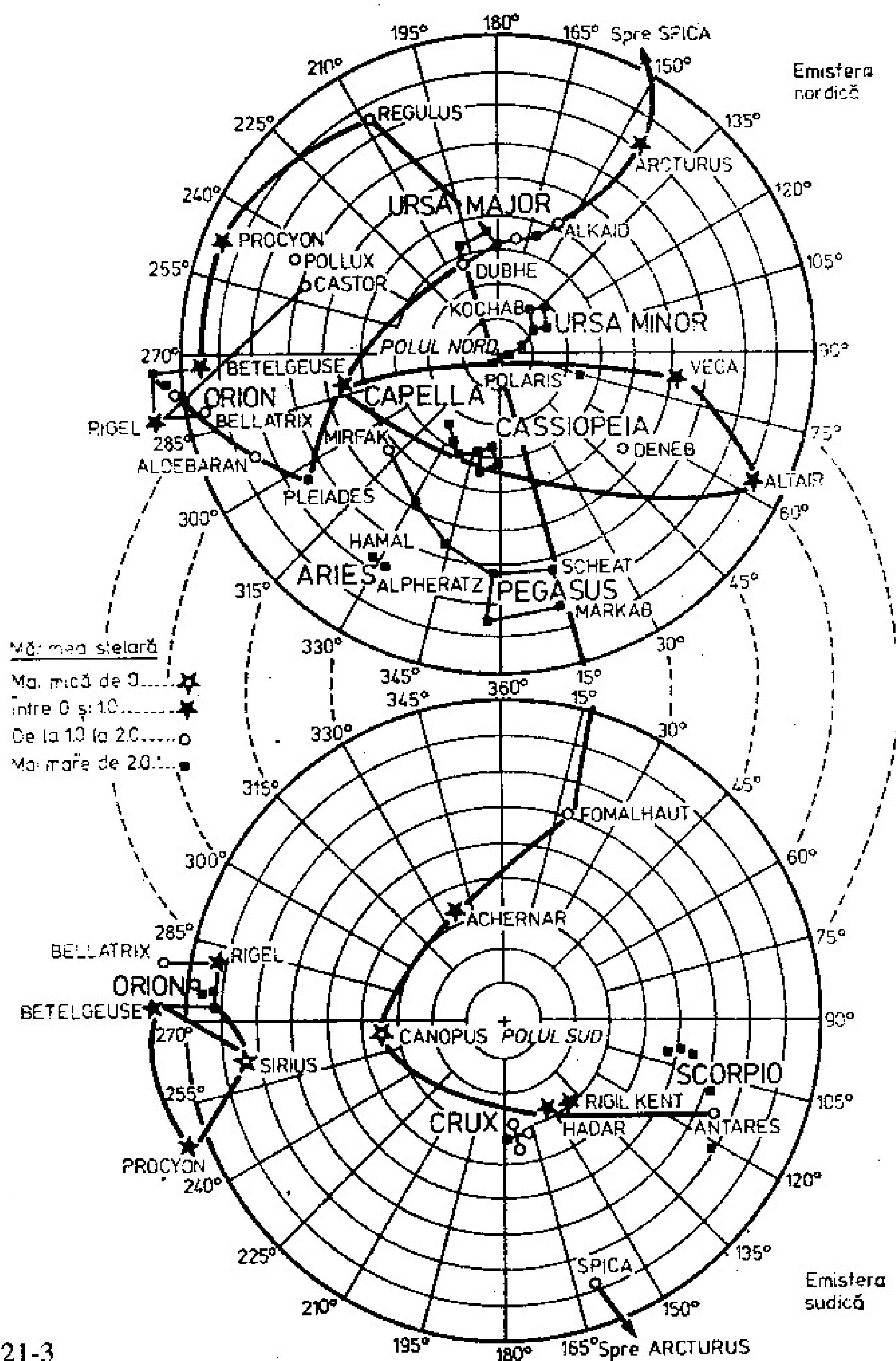


Fig. 21-3

Bootes (Văcarul), cu steaua principală *Arcturus* (0.2), se găsește prin prelungirea spre sud a arcului format de oiștea *Carului Mare*.

Virgo (Fecioara), cu steaua principală *Spica* (1.2), se află prin prelungirea spre sud, peste *Arcturus*, a arcului descris de oiștea *Carului Mare*.

Corona Borealis (Coroana Boreală), formată din şapte stele în formă de coroană (de semicerc), cu steaua principală *Gemma,* fără importanţă deosebită în navigaţie, dar cu faima unei frumoase constelaţii a cerului boreal.

Leo (Leul), aflată pe aliniamentul ultimelor două roţi *(Dubhe – Merak)* ale Carului Mare, în sens opus Polarei, cu două stele principale – *Regulus* (1.3) şi *Denebola* (2.2), baza mare a unui trapez.

Auriga (Vizitiul), cu steaua principală *Capella* (0.2), se află în continuarea arcului descris de oiştea Carului Mic, în direcţia lui *Orion.*

Lyra (Liga), cu steaua cea mai strălucitoare a emisferei nordice, *Vega* (0.1), se află pe aliniamentul *Capella – Polară.*

Aquila (Vulturul), cu steaua principală *Altair* (0.9), aflată pe aliniamentul *Capella – Cassiopeia.*

Cygnus (Lebăda), cu steaua principală *Deneb* (1.3), aflată la bifurcarea *Căii Lactee.*

Stelele *Vega, Altair* şi *Deneb* formează un triunghi isoscel, uşor de distins pe cer, denumit de navigatori *triunghiul marinarului.*

Pisces (Peştii), cu steaua principală *Altair* (0.9), aflată pe aliniamentul *Capella – Cassiopeia.*

Stelele *Vega. Altair* şi *Deneb* formează un triunghi isoscel, uşor de distins pe cer, denumit de navigatori *triunghiul marinarului.*

Pisces (Peştii), cu steaua principală *Fomalhaut* (1.3.), aflată în prelungirea spre sud a aliniamentului *Polară* şi *Scheat-Markab,* din pătratul *Pegasus.* Prelunginduse mai departe spre sud, pe acest aliniament, se găsesc două stele strălucitoare ale emisferei sudice:

– *Achernar* (0.6), α din constelaţia *Eridanus;*

– *Canopus* (0.9), α din constelaţia *Carina.*

Crux (Crucea Sudului), muza admiratorilor cerului austral, uşor de recunoscut, de puţin interes pentru navigaţie, cu stelele: *Acrux* (1.1), *Gacrux* (1.6), *Mimosa* (1.5) şi δ *Crucis* (3.1).

Centaurus (Centaurul), lângă Crucea Sudului, cu două stele principale: *Rigil Kent* (0.1) şi *Hadar* (0.9).

Scorpio (Scorpionul), aflată în aliniamentul *Canopus–Centaurus,* cu steaua principală *Antares* (1.2).

Acestea sunt stelele principale folosite în navigaţie şi constelaţiile cărora ele aparţin.

4. Pregătirea observaţiilor de seară cu navisfera

Aşa cum se arată la capitolul 23, momentul cel mai favorabil al zilei pentru determinarea poziţiei navei cu observaţii astronomice se oferă după apusul Soarelui, pe timpul crepusculului de seară. Măsurarea înălţimilor la aştri, în această situaţie, se face cu atât mai precis, cu cât orizontul se vede mai clar, ceea ce înseamnă că observaţiile trebuie efectuate la un interval de timp cât mai redus posibil după apusul Soarelui, astfel ca să se menţină o luminozitate suficientă.

Intervalul de timp al crepusculului nautic, spre sfârşitul căruia orizontul vizibil oferă condiţii la limită pentru măsurarea înălţimilor, este relativ redus şi aceasta,

îndeosebi, în zonele aflate la latitudini mici (vezi cap. 17, § 3). Dacă observatorul aşteaptă să-i apară mai întâi aştrii în vedere, să procedeze la identificarea lor şi apoi să execute observaţiile, el va constata că, practic, orizontul a devenit insuficient conturat, când măsurarea înălţimilor este aproximativă.

Pentru a se asigura condiţii optime de observaţie, navigatorul trebuie să procedeze din timp la *pregătirea observaţiilor de seară,* care constă în determinarea azimuturilor şi înălţimilor aproximative ale aştrilor, corespunzătoare poziţiei navei în momentul apusului Soarelui. Operaţiunea este simplă şi se execută cu navisfera, astfel (fig. 21-1):

– se calculează ora bordului pentru momentul apusului Soarelui şi poziţia navei pentru acest moment;

– se calculează timpul sideral al locului *ts* pentru momentul apusului Soarelui;

– se orientează sfera (1) pentru momentul apusului Soarelui, în funcţie de latitudinea φ a observatorului şi timpul sideral al locului *ts* pentru acest moment, efectuând operaţiile *a–d* indicate mai sus la punctul 2. *Sfera (1) astfel orientată prezintă aspectul cerului pentru momentul apusului Soarelui;*

– ţinând seama de mărimea aparentă a aştrilor, de criteriile azimuturilor şi înălţimilor pentru determinarea poziţiei navei (vezi cap. 23), se aleg aştrii care oferă condiţiile cele mai favorabile de observaţie. Pentru a face posibilă şi pregătirea observaţiilor la planete, se recomandă ca poziţiile acestora să fie trecute (cu creionul) pe sferă, cu ajutorul coordonatelor ecuatoriale, scoase din tabla zilnică a efemeridei;

– se roteşte apoi succesiv semicercul înălţimilor (3) în dreptul aştrilor aleşi şi se citesc azimuturile şi înălţimile loe aproximative.

După apusul Soarelui, folosind compasul pentru determinarea azimuturilor (relevmentelor) şi sextantul pentru controlul înălţimilor sau chiar numai cu ochiul liber, se procedează la găsirea pe sfera cerească a aştrilor aleşi pentru executarea observaţiilor.

Pentru a se proceda direct la găsirea aştrilor aleşi şi măsurarea înălţimilor, se recomandă următorul procedeu: se reglează sextantul pentru înălţimea aproximativă a astrului, determinată în modul arătat mai sus; se priveşte prin luneta sextantului în azimutul astrului, controlat cu compasul, şi în apropierea orizontului apare imaginea dublu reflectată a astrului căutat, după care se măsoară înălţimea lui.

Procedeul este foarte comod şi eficient, cu rezultate excepţionale în practica navigaţiei astronomice. Astfel, în câteva minute, în condiţiile optime de luminozitate, se pot executa 3–4 observaţii la aştri, practic înainte de sfârşitul crepusculului civil.

Acelaşi procedeu se poate aplica pentru căutarea planetei Venus pe timpul zilei sau pentru recunoaşterea aştrilor, în scopul învăţării lor (aşa cum s-a arătat, mai sus, la punctul 3).

Exemplu. În ziua de 1 iunie 1973, la apusul Soarelui $O = 19^h23^m$ (ora fusului 1 estic), nava se află pe punctul φ = 40°N; λ = 15°20′E. Se cer azimuturile şi înălţimile aproximative ale stelelor Vega şi Arcturus, la care urmează a se executa observaţii pentru determinarea poziţiei navei.

Rezolvare:

a – Calculul timpului sideral al locului

$O = tf = 19h23m$

$-\lambda f = +1$

$Tm = 18^h 23^m$ din 1.06.73

1.06 pentru $Tm = 18^h$ .... $Ts = 160°04'.5$

variația pt. $\Delta Tm = 23^m$ .... $\Delta Ts = \quad 5\ 45.9$

1.06 pentru $Tm = 18^h 23^m$ .... $Tm = 165\ 50.4$

$+\lambda = +30\ 20.0$

$ts = 196°10.4 = 196°.2$

b – se orientează semicercul înălțimilor (3) la gradațiile 0°(N) și 180°(S) de pe cercul azimuturilor (2), ca meridian ceresc al locului;

c – se orientează sfera (1) cu polul ridicat (polul nord) spre nord (deasupra gradației 0° de pe cercul azimuturilor), la gradația 40° de pe semicercul înălțimilor (3), egală cu latitudinea observatorului;

d – se rotește sfera (1) în jurul axei polilor,astfel ca gradația de pe ecuatorul ceresc egală cu 196°.2, egală cu timpul sideral al locului *ts*, să fie adusă în coincidență cu semicercul înălțimilor (3) – ca meridian superior.

Sfera astfel orientată, redă imaginea sferei cerești în momentul apusului Soarelui, în poziția dată;

e – se rotește apoi succesiv semicercul înălțimilor (3) în dreptul aștrilor aleși pentru executarea observațiilor și se citesc azimuturilé și înălțimile lor aproximative:

– *Vega (α Lirae)* .... Az ≅ 68°; *h* ≅ 33°;

– *Arcturus (α Bootis)* .... *Az* ≅ 151°; *h* ≅ 56°.

22 CALCULUL SEPARAT AL LATITUDINII ŞI LONGITUDINII

§1 Generalităţi

Latitudinea locului se poate calcula din înălţimea observată la un astru care ocupă anumite poziţii pe sfera cerească şi anume:

– astrul la culminaţia superioară sau inferioară, din *înălţimea meridiană superioară H* şi respectiv *înălţimea meridiană inferioară* H_{inf};

– din înălţimea observată la un astru aflat în apropierea meridianului ceresc al observatorului, în *limitele circummeridiane;* înălţimea astrului în acest caz se numeşte *înălţime circummeridiană;*

– din înălţimea Stelei Polare, care se menţine în apropierea Polului nord ceresc.

Linia de poziţie obţinută în aceste cazuri este paralelul de latitudine al observatorului.

Procedeele enumerate prezintă avantajul unei rezolvări mai simple şi mai rapide a determinării latitudinii, deci a unei linii de poziţie, decât prin metoda dreptelor de înălţime (cap. 23).

Metoda generală de determinare a longitudinii are la bază observarea unui astru aflat în primul vertical, estic sau vestic; dacă observatorul îşi cunoaşte însă latitudinea, metoda este aplicabilă prin observarea unui astru cu o poziţie oarecare pe sfera cerească, în afara limitelor circummeridiane.

Linia de poziţie determinată prin calculul longitudinii este meridianul observatorului.

§2 Calculul latitudinii din înălţimea meridiană

1 Din înălţimea meridiană superioară

Considerăm un observator aflat în emisfera nordică, într-un loc de latitudine φ şi doi aştri, la culminaţia lor superioară:

– A, care culminează în meridianul sudic, de nume contrar cu latitudinea observatorului (fig. 22-1 *a*), având deci $|\delta| < |\varphi|$ (vezi cap. 16, § 5);

– B, ce culminează în meridianul nordic, de acelaşi nume cu latitudinea observatorului (fig. 22-1 *b*), de $\delta > \varphi$ şi de acelaşi semn.

Înălţimea meridiană superioară a astrului A este $H = \sphericalangle AOS = \widehat{AS}$ şi, respectiv, distanţa zenitală $z = \sphericalangle AOZ = \widehat{AZ} = 90° - H$; înălţimea meridiană superioară a

astrului B este $H = \sphericalangle BON = \widehat{BN}$ şi, respectiv, distanţa zenitală $z = \sphericalangle BOZ = \widehat{BZ} = 90° - H$.

Presupunând că s-au măsurat înălţimile meridiane ale celor doi aştri în momentul culminaţiei superioare şi declinaţiile lor au fost scoase de efemeridă,

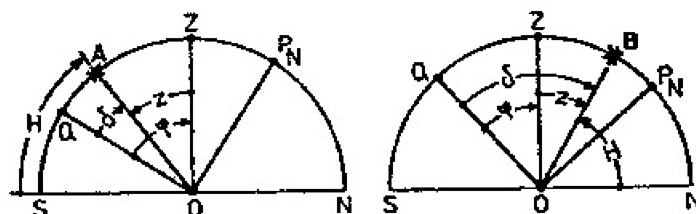


Fig. 22-1 a, b

pentru acest moment, latitudinea observatorului se obţine din suma algebrică (fig. 22-1):

$$\varphi = z + \delta \tag{22-1}$$

în care, distanţa zenitală z intră în calcul cu următorul semn:

– *plus,* când astrul culminează în meridianul de nume contrar cu latitudinea observatorului (fig. 22-1 *a*);

– *minus,* când astrul culminează în meridianul de acelaşi nume cu latitudinea observatorului (fig. 22-1 *b*).

Pentru calculul latitudinii din înălţimea meridiană se efectuează următoarele operaţii:

– se calculează ora culminaţiei superioare a astrului în funcţie de longitudinea locului pentru acest moment (vezi cap. 19, §4). Punctul navei pentru ora culminaţiei se determină estimat, în funcţie de drumul navei, viteză şi intervalul de timp dintre momentul considerat şi cel al culminaţiei astrului;

– se scoate declinaţia astrului δ din efemeridă, în funcţie de dată şi timpul mediu la Greenwich pentru momentul culminaţiei astrului;

– se măsoară înălţimea meridiană *Hi,* care se corectează în înălţime meridiană adevărată *Ha;*

– se calculează distanţa zenitală $z = 90° - Ha$;

– se calculează latitudinea φ din relaţia (22-1).

În scopul stabilirii regulilor practice pentru măsurarea înălţimii meridiane, este necesar să lămurim, mai întâi, felul variaţiei înălţimii unui astru Δh într-un interval de timp Δt, pentru un observator situat la bordul navei care merge într-un anumit drum D cu o viteză V; *variaţia înălţimii* Δh a astrului este egală cu suma algebrică a următoarelor mărimi:

– *variaţia înălţmii astrului* Δh_t datorită mişcării diurne a astrului în intervalul de timp Δt, dată de relaţia (16-5):

$$\Delta h_t = -\sin Z \cdot \cos \varphi \cdot \Delta t,$$

care arată că variaţia înălţimii unui astru într-un interval de timp Δt pentru observatorul de latitudine φ este maximă când astrul se află în primul vertical (când $Z = 90°$), minimă când astrul se află în apropierea meridianului ceresc şi zero la culminaţia superioară sau inferioară ($Z = 0°$ sau $Z = 180°$);

– *variația înălțimii astrului* Δh_m, cauzată de deplasarea navei în drumul D, cu viteza V, exprimată de egalitatea (23-2):

$$\Delta h_m = m \cos (A z - D),$$

unde $m = V \cdot \Delta t$.

Odată cu deplasarea navei, orizontul coboară în prova și se ridică în pupa, determinând o variație a înălțimii astrului Δh_m în funcție de spațiul m parcurs în intervalul Δt și relevmentul prova la astru $Rp = Az - D$. În cazul culminației superioare a astrului, azimutul este egal cu 0° sau 180°; când drumul navei este, de asemenea, 0° sau 180°, deci când astrul se vede în prova sau pupa, variația înălțimii astrului Δh_m în valoare absolută este maximă:

$$\Delta h_m[\text{minute de arc}] = m[\text{mile marine}];$$

– *variația declinației astrului* $\Delta h\delta$, determinată de variația declinației astrului ca urmare a mișcării proprii pe sfera cerească în intervalul de timp considerat: $\Delta h\delta = \cos A \cdot \Delta\delta$, unde A = unghiul paralactic (unghiul la astru) din triunghiul sferic de poziție și $\Delta\delta$ = variația declinației astrului în intervalul Δt.

Această variație este întotdeauna neglijabilă pentru stele, Soare și planete, precum și pentru Lună, când intervalul de timp Δt pentru executarea observației meridiane este relativ redus, ceea ce practic este ușor realizabil.

Din cele arătate mai sus, rezultă că, la bordul navelor maritime comerciale, care merg cu o viteză relativ redusă (majoritatea sub 17 Nd), ca și la navele rapide ce urmează drumuri mult diferite de 0° și 180°, *înălțimea meridiană se poate măsura pe baza observării variației înălțimii astrului, cu sextantul, știind că înălțimea meridiană superioară este înălțimea maximă a astrului în mișcarea sa diurnă.* Practic, se procedează astfel:

– cu câteva minute înainte de ora culminației astrului, se pregătește sextantul și se face tangentarea imaginii dublu reflectate a astrului cu orizontul vizibil;

– se menține tangentarea, urmărind creșterea înălțimii astrului, care în apropierea culminației este foarte mică. *Înălțimea maximă măsurată reprezintă înălțimea meridiană superioară a astrului;* înălțimea maximă corespunde unui interval scurt de înălțime constantă, după care înălțimea astrului începe să scadă.

Când nava merge cu viteză mare, într-un drum apropiat de 0° sau 180°, înălțimea meridiană se măsoară astfel:

– după indicația cronometrului, calculând în prealabil ora crepusculului pentru momentul culminației, prin *„procedeul invers"* (cap. 19, § 4, pct. 1). Acest procedeu dă rezultate bune în măsura în care longitudinea locului se cunoaște cu suficientă precizie;

– când longitudinea locului nu se cunoaște cu suficientă precizie și procedeul de mai sus nu este aplicabil, se măsoară înălțimea astrului în apropierea culminației și se citește ora cronometrului. Observația astfel executată se consideră circummeridiană, din care se calculează latitudinea în modul indicat la § 3.

Procedeul calculului latitudinii din înălțimea meridiană se aplică cu succes pe timpul zilei, cu observații la Soare. Pe timpul nopții, măsurarea înălțimii meridiane a stelelor și planetelor este condiționată de posibilitatea observării orizontului; practic, asemenea condiții sunt limitate la nopțile luminoase cu *Lună plină* și procedeul

poate oferi o largă aplicabilitate la latitudini mari, în perioadele prelungite de crepuscul polar (vezi cap. 17, §3).

La latitudini mari, în perioadele în care pe timpul zilei Soarele are o înălțime meridiană mică, se recomandă ca procedeul să nu fie aplicat la înălțimi sub 15°; într-un asemenea caz, înălțimile mai mici pot fi afectate de erori generate de refracție: refracția astronomică, turtirea discului solar și depresiunea orizontului.

La latitudini mici, în zona ecuatorială sau tropicală, în perioada verii din emisfera în care se navigă, înălțimea meridiană superioară a Soarelui ia valori mari, uneori foarte apropiate de 90°. În asemenea situații, practic, dificultatea constă în măsurarea înălțimii; tangentarea imaginii dublu reflectate a Soarelui se face pe un arc mare al orizontului vizibil și punctul de tangență al bordului inferior al astrului este greu de sesizat.

În asemenea cazuri, când observația meridiană se impune ca necesară, funcție de situația de navigație, m-am folosit cu bune rezultate de indicarea planului meridianului cu ajutorul unei alidade (montată pe unul din repetitoarele girocompasului de pe puntea de comandă). Spre exemplificare, redau următorul extras din jurnalul de bord personal al autorului, comandant al navei ARDEAL: *„De la insula Minicoy, ne continuăm drumul spre coasta de est a Africii, coborând mai întâi în zona ecuatorială și navigând apoi de-a lungul paralelului de latitudine 6°N, în speranța unor condiții hidrometeorologice mai bune. Speranțele au fost însă total infirmate; între 13–17 august 1959, ARDEAL a fost să lupte din greu cu o mare confuză, cu o hulă groasă împinsă din SE, care se suprapunea cu valurile mari ale musonului de SW, ce nu a scăzut deloc sub forța 6–7. În zorii zilei de 17 august, la apropierea de coasta Africii, vântul de SSW a crescut până la forța 11, iar crestele valurilor sparte în corpul navei ajungeau până pe puntea bărcilor, ambarcând apă și în stația de telegrafie; viteza navei redusă, deriva mare.*

În această situație, hotărâm schimbarea de drum pentru a ateriza pe capul Ras Hafun și a intra astfel la adăpostul coastei Africii. Aterizarea executată în drum vest, controlată cu latitudinea meridiană. Înălțimea meridiană de 82°09′ a Soarelui, măsurată cu sextantul și cu ajutorul alidadei repetitorului giro orientată în 180°, pentru a avea astfel un control asupra planului vertical al observației, a fost transformată într-o latitudine pe care aterizarea pe Ras Hafun a conformat-o ca bună".

Exemplul 1. În ziua de 10 noiembrie 1973, în momentul culminației superioare a Soarelui se măsoară $Hi = 49°27'$. Nava merge în $Da = 136°$, viteza = 14 Nd. Punctul estimat pentru momentul culminației Soarelui... $\varphi_e = 23°11'N$; $\lambda_e = 26°45'E$; $i = 12$ m; $\varepsilon = 1'.3$. Se cere latitudinea observatorului.

Rezolvare:

a – Calculul orei culminației și al declinației Soarelui

$tm = 11^h44^m$ $\qquad\qquad$ $\lambda f = +30°$

$+(\lambda f - \lambda) = -\ 27$ $\qquad\qquad$ $-\lambda = +36°45'$

$tf = 11\ 17$ $\qquad\qquad$ $\lambda f - \lambda = -\ 6°45' = -27^m$

$-\lambda f = +2$

$Tm = 09^h17^m$ din 10.11.73 .... $\delta = -17°09'.1$

b – Calculul lui Ha și z

$Hi = 49°27'.0$
$+\varepsilon = +\ \ 01.3$
$H_0 = 49\ 25.7$
$+\text{Cor} = +\ \ 09.3$
$Ha = 49\ 35'.5$
$90° = 89°60'$
$-Ha = \ 49\ 35'$
$z = 40°25'$

c – Calculul latitudinii

$z = +40°25'.0$
$+\delta = -17\ 09.1$
$\varphi = +23°15'.9$

Observație. Distanța zenitală z este pozitivă pentru că Soarele culminează în meridianul sudic, de numere contrar cu latitudinea observatorului ($|\delta| < |\varphi|$).

2 Din înălțimea mediană inferioară

Considerăm un observator la latitudinea φ și un astru circumpolar C, la culminația lui inferioară, având înălțimea meridiană inferioară $H\text{inf} = \sphericalangle CON = \widehat{CN}$ și declinația δ, respectiv distanța polară $p = \sphericalangle COP_N = \widehat{CP_N}$ (fig. 22-2); un astru este circumpolar, când declinația lui este mai mare decât colatitudinea observatorului și de același semn cu latitudinea.

Figura 22-2 arată că latitudinea observatorului se obține din relația:

$$\delta = H\text{inf} + p, \qquad (22\text{-}2)$$

în care $p = 90° - \delta$.

Înălțimea meridiană inferioară se bazează pe observarea variației înălțimii astrului, cu sextantul, cu câteva minute înainte de ora culminației inferioare, știind că înălțimea meridiană inferioară este *înălțimea minimă* a astrului în timpul mișcării diurne. Toate celelalte indicații privind măsurarea înălțimii meridiane superioare, date mai sus la punctul 1, se aplică și la observarea aștrilor la culminația inferioară.

Procedeul prezintă importanță aplicativă îndeosebi în navigația la latitudini mari, deoarece numărul aștrilor circumpolari crește cu latitudinea.

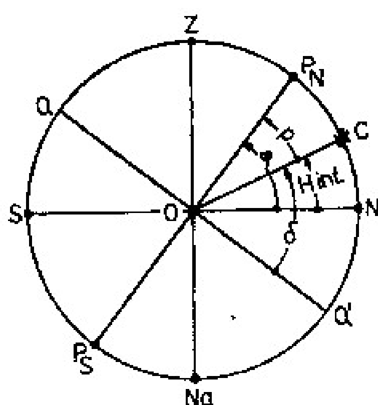


Fig. 22-2

Exemplul 2. În ziua de 9 noiembrie 1973, în momentul culminației inferioare a stelei *Capella* (α *Aurigae*), se măsoară $H\text{inf} = 13°32'.3$. Punctul estimat $\varphi_e = +57°19'$; $\lambda_e = -46°30'$; $i = 8$ m; $\varepsilon = +1'.1$. Se cere latitudinea observatorului.

Rezolvare

a – Calculul latitudinii

$Hinf = 13°32'.3$
$+\varepsilon = + \quad 1.1$
$H_0 = 13\ 33.4$
$+ \text{Cor} = - \quad 9.1$
$Ha = 13\ 24.5$
$+ p = 44\ 01.6$
$\varphi = 57°25'.9\text{N}$

b – Distanța polară

$90° = \quad 89°60$
$- \delta = + 45\ 58.4$
$p = \quad 44°01'.6$

§3 Calculul latitudinii din înălțimea circummeridiană

Prin *înălțime circummeridiană h* se înțelege înălțimea unui astru în anumite limite în raport cu momentul culminației astrului; *limitele circummeridiane* pentru observarea unui astru se exprimă prin valoarea *unghiului la pol limită Plim,* care se determină în funcție de latitudinea observatorului și declinația astrului.

În practica navigației, latitudinea se calculează din înălțimea circummeridiană în următoarele situații:

– când măsurarea înălțimii în momentul culminației astrului nu este posibilă datorită condițiilor de observație (astrul acoperit de nori etc);

– înălțimea meridiană nu poate fi măsurată pe baza observării variației înălțimii, cu sextantul, datorită faptului că nava merge într-un drum apropiat de 0° sau 180°, cu viteză mare și nici după indicațiile cronometrului, deoarece longitudinea locului nu se cunoaște cu suficientă precizie (vezi §2);

– întotdeauna când în urma calculului unghiului la pol al astrului observat se constată că valoarea acestuia este cuprinsă în limitele circummeridiane *(Plim).*

1 Relații pentru calculul latitudinii din înălțimea circummeridiană

Considerăm un arc aa' al paralelului de înălțime al unui astru A cuprins în limitele circummeridiane (fig. 22-3) și orizontul corespunzător HH', se observă că înălțimea meridiană H a astrului A, la culminație, poate fi obținută din înălțimile circummeridiane h_1 și h_2, corespunzătoare pozițiilor A_1 și respectiv A_2 ale astrului astfel:

$$H = h_1 + \widehat{AB} = h_2 + \widehat{AC}$$

Arcele $\widehat{AB}$ și $\widehat{AC}$, respectiv unghiurile corespunzătoare la centrul sferei cerești, reprezintă deci o corecție ce trebuie adunată înălțimilor circummeridiane pentru a obține înălțimea meridiană H. Notând această corecție cu r, relația care dă înălțimea meridiană H din una circummeridiană h este:

$$H = h + r \qquad (22\text{-}3)$$

Relația care exprimă *corecția r* se obține din formula înălțimii (15-7):

$\sin h = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos P,$

în care se introduce:

$h = H - r$, din formula (22-3);

$\cos P = 1 - 2\sin^2\frac{P}{2}$;

$z = \varphi - \delta$, din relația (22-1), unde distanța zenitală $z = 90° - H$.

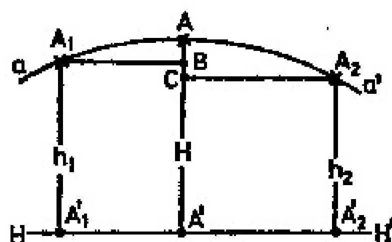


Fig. 22-3

Deci:

$$\sin(H - r) = \sin\varphi\sin\delta + \cos\varphi\cos\delta - 2\cos\varphi\cos\delta\sin^2\frac{P}{2}$$

de unde:

$$\sin H\cos r - \cos H\sin r = \sin H - 2\cos\varphi\cos\delta\sin^2\frac{P}{2}$$

Valorile lui r fiind însă mici, se poate admite că:

$$\sin r = r \text{ și } \cos r = 1 - \frac{r^2}{2},$$

pe care introducându-le în ultima expresie se obține:

$$\sin H - \frac{r^2}{2}\sin H - r\cos H = \sin H - 2\cos\varphi\cos\delta\sin^2\frac{P}{2}$$

de unde:

$$r = \frac{\cos\varphi\cos\delta}{\sin(\varphi - \delta)} 2\sin^2\frac{P}{2} - \frac{1}{2}r^2 \operatorname{tg} H$$

Știind însă că $\frac{\sin(\varphi - \delta)}{\cos\varphi\cos\delta} = \operatorname{tg}\varphi - \operatorname{tg}\delta$ și exprimând pe r în minute de arc:

$$r = \frac{2\sin^2\frac{P}{2}}{(\operatorname{tg}\varphi - \operatorname{tg}\delta)\operatorname{arc} 1'} - \frac{1}{2}r^2 \operatorname{tg} H \operatorname{arc} 1' \qquad (22\text{-}4)$$

Această formulă este rezolvată de diferite table nautice folosite pentru calculul latitudinii din înălțimea circummeridiană; *Tablele Nautice MT* – 53 rezolvă formula (22-4) înmulțind primul termen al membrului din dreapta cu 100, astfel:

$$r = \frac{200}{K}\cdot\frac{\sin^2\frac{P}{2}}{\operatorname{arc} 1'} - \frac{1}{2}r^2 \operatorname{tg} H \operatorname{arc} 1' \qquad (22\text{-}5)$$

unde $K = 100 \operatorname{tg}\varphi \sim 100 \operatorname{tg}\delta$, iar semnul ~ are următoarea semnificație:

– dacă φ și δ sunt semne contrarii, $K = 100 \operatorname{tg}\varphi + 100 \operatorname{tg}\delta$

– când φ și δ sunt de același semn, *K* se obține scăzând valoarea mai mică din cea mai mare.

Expresia (22-5) pentru calculul *corecției r* se rezolvă cu *Tablele Nautice MT–53* astfel:

– se intră în *tabla 17-a* cu latitudinea estimată și se scoate 100 tg φ, apoi cu declinația astrului, în aceeași tablă și se scoate 100 tg δ. Din cele două mărimi se calculează $K = 100\,\text{tg}\,\varphi \sim 100\,\text{tg}\,\delta$, în modul arătat mai sus;

– se intră în *tabla 17-b* cu *K* și unghiul la pol *P* și se obține *primul termen al corecției r:*

$$\text{cor}\ I = \frac{200}{K} \cdot \frac{\sin^2 \frac{P}{2}}{\text{arc}\ 1'};$$

– dacă corecția I este mai mare de 15′, se intră în *tabla* 17-c cu *corecția I*, determinată în modul arătat mai sus și cu înălțimea circummeridiană adevărată (substituirea înălțimii meridiane *H*, din relația circummeridiană *h* nu afectează practic precizia calculului) și se obține al doilea termen al *corecției r:*

$$\text{cor. II} = -\frac{1}{2} r^2\ \text{tg}\, H\ \text{arc}\ 1';$$

– se face suma celor doi termeni ai membrului din dreapta al egalității (22-5), cor. I + cor. II și se obține astfel *corecția r,* care trebuie să rezulte întotdeauna pozitivă. Dacă corecția I < 15′, corecția II se consideră neglijabilă.

2 Calculul unghiului la pol limită *(Plim)* al astrului. Stabilirea limitelor circummeridiane

Unghiul la pol limită *Plim*, care exprimă intervalul de timp limită în raport cu momentul culminației astrului pentru ca observația să se considere circummeridiană, se determină prin diferențierea relației (22-4), care exprimă *corecția r,* neglijând termenul II al Membrului din dreapta (care ia valori neînsemnate):

$$\text{d}r = \frac{2 \times 2 \sin \frac{P}{2} \cos \frac{P}{2} \frac{1}{2}}{\text{tg}\varphi - \text{tg}\delta} \text{d}P = \frac{\sin P}{\text{tg}\varphi - \text{tg}\,\delta} \text{d}P$$

Unghiul la pol fiind mic, se poate considera $\sin P \approx P$ și trecând apoi la creșteri finite:

$$\Delta r = \frac{P}{\text{tg}\varphi - \text{tg}\delta} \Delta P$$

deci:

$$P = \frac{\Delta r}{\Delta P} (\text{tg}\varphi - \text{tg}\delta), \qquad (22\text{-}6)$$

relație care stă la baza calculului *unghiului la pol limită.*

Tabla 19 (MT-53) exprimă unghiul la pol limită *Plim,* în minute de timp, în funcție de latitudinea observatorului φ și declinația astrului δ întocmită astfel ca

eroarea maximă în latitudine să fie în limitele de ±1′, la o eroare posibilă în unghiul la pol de 0.5 minute (timp), după relația:

$$Plim = 30.6(\text{tg } \varphi - \text{tg } \delta) \quad (22\text{-}7)$$

3 Rezolvarea problemei

Față de cele arătate mai sus, pentru calculul latitudinii din înălțimea circum-meridiană *h* se procedează astfel:

– se măsoară înălțimea astrului și, simultan, se citește ora cronometrului;

– se calculează unghiul la pol *P*, care se transformă în unități de timp;

– se intră în *tabla 19 (MT-53)* cu φ și δ și se scoate unghiul la pol limită *Pim* pentru observații circummeridiane. Dacă *P*<*Plim, înălțimea observată este circum-meridiană;*

– se calculează *corecția r* cu ajutorul *tablelor 17-a, b* și *c(MT-53),* în modul indicat mai sus;

– se calculează înălțimea meridiană din relația (22-3): $H = h + r$;

– se calculează latitudinea observatorului din relația (22-1): $\varphi = z + \delta$.

Latitudinea astfel calculată corespunde poziției navei din momentul culminației astrului; ora bordului pentru acest moment se obține din ora bordului pentru momentul observației corectată în funcție de unghiul la pol, astfel:

– *plus unghiul la pol la est,* dacă observația s-a făcut înainte de culminația astrului;

– *minus unghiul la pol la vest,* dacă observația s-a făcut după culminație.

Așa cum se vede din fig. 22-4, înălțimea meridiană inferioară *H*inf a astrului *B* se obține din înălțimea circummeridiană *h* astfel:

$$H\text{inf} = h - r \quad (22\text{-}8)$$

deci *corecția r* este *negativă,* iar mărimea ei este obținută din *tablele 17-a, b și c (MT-53)* după expresia:

$$r = \frac{200}{K} \cdot \frac{\sin^2 \frac{P}{2}}{\text{arc } 1'} + \frac{1}{2} r^2 \text{tg } H \text{ arc } 1' \quad (22\text{-}9)$$

unde $K = 100 \text{ tg } \varphi + 100 \text{ tg } \delta$, deoarece φ și δ sunt de același semn.

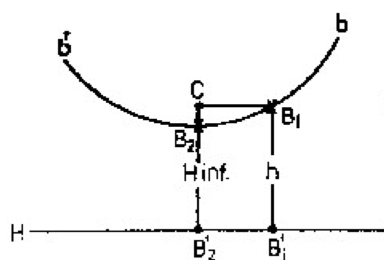


Fig. 22-4

Exemplul 3. În ziua de 10 noiembrie 1973 în punctul estimat $\varphi_e = 6°11'$N; $\lambda_e = 61°15'$E se măsoară la *Canopus* (α Carinae) $hi = 31°18'.5$; ora bordului $0 = 05.40$ (ora fusului 4 estic); $i = 12$ m; $\varepsilon = -0'.3$. Se calculează unghiul la pol... $P_W = 3°30' = 14^m$.

Se cere latitudinea observatorului.

a – Calculul unghiului la pol limită

T. 19 cu φ și δ .... *Plim* = 17^m

$P_W = 3°30'$ .... = 14^m

P < Plim, deci observația este în limitele circummeridiane.

b – Calculul corecției r

100 tg φ = 11 .... *T.*17 -a cu φ

100 tg δ = 131 .... *T.*17-a cu δ

K = 142

cor. I = 4′.9 .... *T.*17-*b* cu *K* și *P*

cor. II = negl *T.*17-*c*

r = 4′.9

c – Calculul lui Ha

hi = 31°18′.5

+ ε = − 0.3

ho = 31 18.2

+ Cor. = − 7.8

ha = 31 10.4

+ *r* = + 4.9

Ha = 31°15′.3

d – Calculul latitudinii

90°= 89°60′

−*Ha* = 31 15.3

z = 58°44′.7

+ δ = −52 40.6

φ = + 6°04.1 pentru 0 = 05^h26^m = 05^h40^m − 14^m

§4 Calculul latitudinii din înălțimea Polarei

Steaua Polară se află în imediata apropiere a polului nord ceresc; astfel, în decembrie 1973 declinația ei era 89°09′N, descriind deci, în mișcarea diurnă, un paralel de declinație în jurul polului nord ceresc cu o rază sferică $p = 90° - 89°09' = 0°51'$.

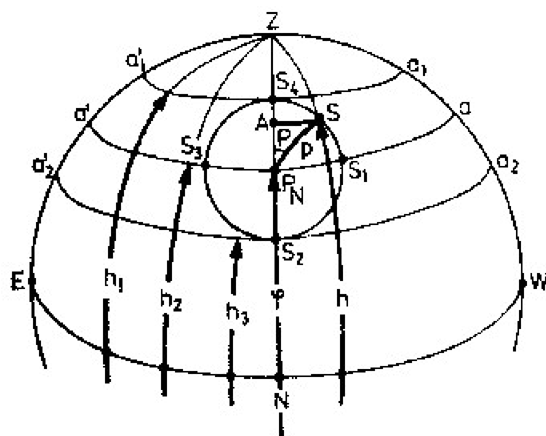


Fig. 22-5

Considerăm Steaua Polară în pozițiile ei succesive *S*, S_1,..S_4, în mișcarea diurnă în jurul polului nord ceresc P_N (fig. 22-5). Când Polara se află în pozițiile S_1 *și* S_3, pe .paralelul *aa′* de înălțime h_2, ce trece prin P_N, latitudinea $\varphi = h_2$. Dacă Polara se află la culminația superioară sau la cea inferioară, în S_4și respectiv S_2, la înălțimea h_1 și h_3, latitudinea $\varphi = h_1 - p$ și respectiv $\varphi = h_3 + p$.

În cazul în care Polara se află într-o poziție oarecare S, având înălțimea h și unghiul la pol P, latitudinea locului:

$$\varphi = h - x \qquad (22\text{-}10)$$

unde $x = \widehat{AP_N}$, iar A, piciorul perpendicularei sferice coborâtă din S pe meridianul ceresc al locului. Considerând triunghiul sferic P_NSA, ca triunghi dreptunghic plan, având laturile foarte mici, rezultă că:

$$x = p \cos P, \qquad (22\text{-}11)$$

și respectiv:

$$\varphi = h - p \cos P, \qquad (22\text{-}12)$$

aceasta fiind *formula aproximativă* pentru calculul latitudinii din înălțimea Polarei. Pentru stabilirea *formulei exacte,* considerând expresia cunoscută (15-7) a înălțimii:

$$\sin h = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos P$$

în care facem substituirile: $h = \varphi + x$ (din relația 22-10) și $\delta = 90° - p$; deci:

$$\sin (\varphi + x) = \sin \varphi \cos p + \cos \varphi \sin p \cos P$$

de unde:

$$\sin \varphi \cos x + \cos \varphi \sin x = \sin \varphi \cos p + \cos p + \sin p \cos P.$$

Eliminând infiniții mici de ordinul 3 și superiori acestuia, de la dezvoltarea în serie a funcțiilor trigonometrice, se poate scrie: $\cos x = 1 - \frac{x^2}{2}$; $\sin x = x$; $\cos p = 1 - \frac{p^2}{2}$; $\sin p = p$; deci substituind, se obține succesiv:

$$\sin \varphi - \frac{x^2}{2} \sin \varphi + x \cos \varphi = \sin \varphi - \frac{p^2}{2} \sin \varphi + p \cos \varphi \cos P, \text{ de unde:}$$

$$x \cos \varphi = p \cos \varphi \cos P + \frac{x^2 - p^2}{2} \sin \varphi, \text{ și}$$

$$x = p \cos P + \frac{x^2 - p^2}{2} \operatorname{tg} \varphi.$$

Și deoarece $\varphi \cong h$, diferența nedepășind 51′ (în cazul declinației $\delta = 89°09'$N), se poate considera $\operatorname{tg} \varphi = \operatorname{tg} h$ și cu aproximație $x = p \cos P$ (formula 22-11), de unde se deduce:

$$x = p \cos P - \frac{1}{2} p^2 \sin^2 P \operatorname{tg} \operatorname{tg} h.$$

Știind însă că $P_W = t$ iar $P_E = 360° - t$ (relațiile 15-4) și că $t = ts - \alpha = ts + \tau$ (relațiile 18-3′ și 18-4) și exprimând pe x și p în minute de arc, se obține:

$$x = p \cos (ts + \tau) - \frac{1}{2} p^2 \sin^2 (ts + \tau) \operatorname{tg} h \text{ arc } 1' \qquad (22\text{-}13)$$

pe care introducând-o în relația (22-10), se obține formula care exprimă latitudinea din înălțimea Polarei:

$$\varphi = h - p \cos (ts + \tau) + \frac{1}{2} p^2 \sin^2 (ts + \tau) \operatorname{tg} h \text{ arc } 1' \qquad (22\text{-}14)$$

Formula (22-13), care exprimă corecția x ce trebuie adusă înălțimii Polarei pentru determinarea latitudinii observatorului este revoltată de *efemeridele nautice*. Astfel, tabla *„POLARIS (POLE STAR) TABLES – for determining latitude from sexant altitude"* din BNA rezolvă această formulă din suma a trei corecții, astfel:

– *corecția* a_0, care dă valoarea expresiei (2-13), *în funcție de timpul sideral al locului ts („L.H.A. Aries", local hour angle-Aries)*. Corecția a_0 este stabilită prin rezolvarea formulei (22-13), luând în calcul valorile medii anuale p_0 și ι_0 ale Polarei și înălțimea $h = 50°$, singura variabilă rămânând *ts*, argumentul de intrare în tablă; pentru ca corecția a_0 să fie întotdeauna pozitivă, mărimile astfel obținute se scad din 58′.8, valoare arbitrară superioară distanței polare p a Stelei Polare;

– *corecția* a_1, ce se obține în funcție de timpul sideral al locului *(„L.H.A. Aries")* și latitudinea estimată *(„Lat.")*, care reprezintă corecția ce trebuie adusă lui a_0 pentru înălțimea observată (față de $h = 50°$ luat în calculul lui a_0). Pentru ca a_1 să rezulte întotdeauna pozitivă, se adună mărimea constantă 0′.6;

– *corecția* a_2, care se obține în funcție de timpul sideral al locului *ts („L.H.A. Aries")* și luna calendaristică *„Month"* a observației; a_2 corectează pe a_0 funcție de coordonatele reale p și ι față de cele medii p_0 și ι_0, luate în calculul acesteia. Pentru ca a_2 să rezulte pozitiv, se adună mărimea constantă 0′.6.

Se observă astfel că suma constantelor: 58′.8 + 0′.6 = 1°; latitudinea observatorului se calculează deci după relația:

$$\varphi = ha - 1° + a_0 + a_1 + a_2 \qquad (22\text{-}15)$$

unde corecțiile a_0, a_1 și a_2 sunt întotdeauna pozitive.

Exemplul 4. În ziua de 10 noiembrie 1973 la $A = 16^h01^m10^s$ se măsoară la Polară $hi = 34°06'.5$. Punctul estimat $\varphi_e = 34°05'N$; $\lambda_e = 30°10'E$; $(Tm - A) = +1^m50^s$; $i = 11$ m; $\varepsilon = +1'$.

Se cere latitudinea observatorului.

Rezolvare:

a – Calculul timpului sideral al locului

$A = 16^h01^m10^s$
$+(Tm - A) = +1\ 50$
$Tm = 16^h03^m00^s$ din 10.11.73

10.11 pentru $Tm = 16^h$ .... $Ts = 289°40'.1$
variația pt. $\Delta Tm = 03^m$ .... $\Delta Ts = 0\ 45.1$

10.11 pentru $Tm = 16^h03^m$ .... $Ts = 209\ 25\ .2$
$+\lambda = +30\ 10\ 0$
$ts = 300°35'.2$

b – Calculul latitudinii

$hi = 34°06'.5$
$+\varepsilon = +01.0$
$ho = 34\ 07\ .5$
$+$ Cor $= -07.4$
$ha = 34°00'.1$

$ha - 1° = 33°00'.1$

$+ a_0 = 1\ 00.2$ .... cu *ts* („L.H.A.Aries")

$a_1 = \ \ 0.4$ .... cu *ts* („L.H.A. Aries") și φ („LAt.")

$a_2 = \ \ 01.0$ .... cu *ts* („L.H.A. Aries") și luna observației („Month")

$\varphi = 34°01'.7\ N$

Procedeul calculului latitudinii din înălțimea Polarei, precis și expeditiv, se aplică, în emisfera nordică, practic la latitudini mai mari de 12°. Observațiile se execută în timpul crepusculului de seară și dimineață, când orizontul este bine conturat.

Când observațiile se fac în timpul crepusculului de seară, mărimea aparentă a polarei fiind numai 2.1, se recomandă aplicarea următoarei metode:

– după apusul Soarelui, în timpul crepusculului civil, se reglează sextantul pentru o înălțime egală cu latitudinea estimată;

– se privește orizontul prin luneta sextantului, orientat vertical în azimut aproximativ 0°. În apropierea orizontului se va observa imaginea dublu reflectată a Polarei, după care se procedează la măsurarea înălțimii.

§5 Calculul longitudinii

1 Relații pentru calculul longitudinii

Considerăm un astru *A*, observat simultan de doi observatori situați în două puncte de longitudini diferite (fig. 22-6): Z_1, de longitudine estică și Z_2, de longitudine vestică.

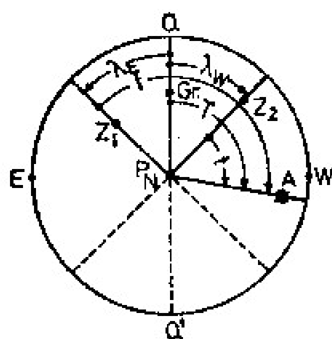


Fig. 22-6

Presupunând că unghiul orar al astrului la meridianul *t* și la Greenwich *T* sunt mărimi cunoscute, relațiile pentru calculul longitudinii sunt:

$$\lambda_{est} = t - T \text{ și } \lambda_{vest} = T - t \qquad (22\text{-}16)$$

2 Calculul unghiului orar la Greenwich al astrului

Unghiul orar la Greenwich *T* al astrului se determină cu ajutorul efemeridei din ora cronometrului pentru momentul observației, astfel:

– în cazul observațiilor la Soare, Lună și planete, unghiul orar la Greenwich *T* se scoate din efemeridă, în funcție de dată și timpul mediu la Greenwich pentru momentul observației;

– în cazul observațiilor la stele, se scoate mai întâi din efemeridă timpul sideral la Greenwich *Ts*, în funcție de *Tm* și apoi unghiul ι al stelei. Unghiul orar la Greenwich al stelei se calculează din relația (18-5): $T = Ts + \iota$.

3 Calculul unghiului orar al astrului la meridianul locului

Unghiul orar al astrului t la meridianul locului se calculează din unghiul la pol P, care se deduce din formula înălţimii (15-7):

$$\sin h = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos P,$$

de unde:

$$\cos P = \sin h \sec \varphi \sec \delta - \operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \delta, \qquad (22\text{-}17)$$

care se rezolvă logaritmic, pe părţi, din: înălţimea observată la astru h, latitudinea observatorului φ şi declinaţia astrului δ, scoasă din efemeridă.

Sensul unghiului la pol se determină după emisfera, estică sau vestică, în care se află astrul observat; în caz de îndoială, cel mai bun criteriu de stabilire a acestei emisfere este după variaţia înălţimii, stabilită cu sextantul în momentul observaţiei: înălţimea creşte în emisfera estică şi scade, în cea vestică.

Unghiul la pol astfel calculat se transformă în unghi orar după relaţiile (15-4):

– astrul în est .... $t = 360° - P_E$;

– astrul în vest .... $t = P_w$.

4 Criterii de alegere a aştrilor

Privind relaţiile de mai sus care stau la baza calculului longitudinii şi considerând că înălţimea astrului h a fost observată şi corectată cu precizie, rezultă că practic acurateţea longitudinii determinate este funcţie de precizia cu care se cunoaşte latitudinea (vezi relaţia 22-17).

Pentru a vedea care este influenţa erorii în latitudine asupra preciziei longitudinii, diferenţiem formula înălţimii (15-7):

$$\sin h = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos P$$

considerând φ şi P variabile, deci:

$$\sin \delta \cos \varphi \,\Delta\varphi - \sin \varphi \cos \delta \cos P \,\Delta\varphi - \cos \varphi \cos \delta \sin P \Delta P = 0$$

de unde:

$$\Delta P = \frac{(\sin \delta \cos \varphi - \sin \varphi \cos \delta \cos P)\,\Delta\varphi}{\cos \varphi \cos \delta \sin P} = \frac{(tg\, \delta \cos \varphi - \sin \varphi \cos P)\,\Delta\varphi}{\cos \varphi \sin P}$$

în care introducând formula cotangentelor (15-12) aplicată în triunghiul sferic de poziţie:

$$\operatorname{ctg} Z \sin P = \operatorname{tg} \delta \cos \varphi - \sin \varphi \cos P$$

se obţine:

$$\Delta P = \frac{\operatorname{ctg} Z \sin P}{\cos \varphi \sin P} \Delta\varphi = \operatorname{ctg} Z \sec \varphi \,\Delta\varphi \qquad (22\text{-}18)$$

Ştiind însă că $\Delta P = \Delta t = \Delta\lambda$, se poate scrie:

$$\Delta\lambda = \operatorname{ctg} Z \sec \varphi \,\Delta \varphi, \qquad (22\text{-}19)$$

formulă care arată că sub influenţa unei erori în latitudine $\Delta\varphi$, *eroarea în longitudine $\Delta\lambda$ este zero dacă $Z = 90°$, deci când astrul observat este în primul vertical şi infinit de mare pentru $Z = 0°$ sau $180°$, când astrul se află la culminaţie;* factorul sec φ arată că la o anumită valoare a lui Z, $\Delta\lambda$ creşte cu latitudinea.

Aceste considerații impun următorul criteriu de alegere a aștrilor pentru determinarea practică a longitudinii:

a – dacă latitudinea observatorului se cunoaște cu suficientă precizie, astrul observat pentru calculul longitudinii poate avea o poziție oarecare pe sfera cerească, în afara limitelor circummeridiane. Aceasta este situația în care procedeul calculului longitudinii se mai aplică în navigația modernă, cu bune rezultate, așa cum se arată mai jos, la § 6;

b – când latitudinea nu se cunoaște cu suficientă precizie, astrul observat trebuie să se afle în primul vertical, estic sau vestic, în azimut 90° sau respectiv 270°. Observația se execută după indicația orei bordului, calculată prin *procedeul invers* din unghiul la pol P_I pentru momentul trecerii astrului prin primul vertical, determinat din relația (16-4): $\cos P_I = \operatorname{tg} \delta \operatorname{ctg} \varphi$; pe baza acestei formule este întocmită *tabla 21 (MT-53)*, care exprimă unghiul la pol în funcție de φ și δ.

Când situația navigatorului prezintă această particularitate, de a nu-și cunoaște latitudinea cu suficientă precizie, se recomandă ca observația la astru să fie folosită pentru determinarea dreptei de înălțime (vezi cap. 23) și a se renunța la procedeul calculului longitudinii.

5 Modul de rezolvare a problemei

Din cele arătate se deduce următorul mod practic de lucru pentru calculul longitudinii:

– se măsoară înălțimea astrului, și, simultan, se citește ora cronometrului;

– se calculează unghiul orar la Greenwich T al astrului pentru momentul observației;

– se calculează unghiul la pol P al astrului din înălțime, declinație și latitudine (formula 22-17), care se transformă în unghi orar la meridianul locului t;

– se calculează longitudinea locului din T și t din relația (22-16).

Procedeul se aplică în condițiile în carte latitudinea observatorului se cunoaște cu suficientă precizie. Dacă există posibilitatea alegerii aștrilor, se recomandă a se acorda prioritate celor aflați în apropierea primului vertical.

Exemplul 5. În ziua de 10 iunie 1973, în punctul $\varphi = 43°22'N$; $\lambda_e = 30°02'E$ se măsoară la *Vega* (α *Lirae*) $hi = 35°15'.2$; $i = 8$ m; $\varepsilon = +1'.2$; $(Tm - A) = -5^m21^s$. Astrul observat în emisfera estică. Latitudinea este cunoscută cu precizie; se cere longitudinea observatorului.

Rezolvare:

a – Calculul unghiului orar la Greenwich T

$A = 18^h25^m31^s$
$+(Tm - A) = -05 \quad 21$

$Tm = 18^h20^m10^s$ din 10.06

10.06 pentru $Tm = 18^h$	....	$T = 168°56'.8$
variația pt. $\Delta Tm =$ 20^m10^s	....	$\Delta Ts = 5°03.3$
10.06 pentru $Tm = 18^h20^m10^s$	....	$Ts = 174°00.1$
		$+\iota = 80 \quad 58.9 \ldots \delta = +38°45'.4$
		$T = 254°59'$

b – Calculul lui ha

$$\begin{array}{r} hi = 35°15'.2 \\ +\varepsilon = +\ \ \ 1.2 \\ \hline ho = 35\ \ 16.4 \\ +\text{Cor.} = -\ 6.4 \\ \hline ha = 35°10'.0 \end{array}$$

c – Calculul unghiului orar al locului *t*

$$\cos P = \sin h \sec \varphi \sec \delta - \text{tg}\, \varphi\, \text{tg}\, \delta = (+x) + (-y)$$

$h = 35°10'$	$\log \sin h = 9.76039$	
$\varphi = +43°22'$	$\log \sec \varphi = 0.13848$	$\log \text{tg}\, \varphi = 9.97523$
$\delta = +38°45'.4$	$\log \sec \delta = 0.10801$	$\log \text{tg}\, \delta = 9.90459$
	$\log\ \ x = 0.00688$	$\log y\ \ = 9.87982$

$$\begin{array}{r} x = +\ 1.01600 \\ +y = -\ 0.75827 \\ \hline \cos P = +\ 0.25773 \end{array}$$

$\log \cos P = 9.41116$

$P_E = 75°03'.9$

$t = 360° - 75°03'.9 = 284°56'.1$

d – Calculul longitudinii

$$\begin{array}{r} t = 284°56'.1 \\ -T = 254\ \ 59.0 \\ \hline \lambda = +\ 29°57'.1 \end{array}$$

§6 Calculul separat al latitudinii și longitudinii în practica navigației

Linia de poziție determinată în cazul calculului latitudinii din înălțimea meridiană, circummeridiană sau din înălțimea Polarei, în modul arătat mai sus, se confundă cu paralelul locului. Procedeele pentru calculul latitudinii sunt simple și expeditive, răspunzând din acest punct de vedere unui important deziderat al navigației.

În toate cele trei cazuri, relațiile de calcul arată că precizia latitudinii determinate este funcție directă de precizia observări astrului cu sextantul. De aceea, în condiții dificile de observație, se recomandă ca măsurarea înălțămii meridiane sau circummeridiane să fie executată simultan de doi observatori, pentru verificarea preciziei observațiilor.

Linia de poziție determinată în cazul calculului longitudinii din înălțimea observată la un astru se confundă cu meridianul locului. Așa cum s-a arătat mai sus, precizia și aplicabilitatea procedeului sunt condiționate de cunoașterea cu suficientă precizie a latitudinii observatorului.

Rezultă că procedeele analizate nu oferă o soluție generală a determinării astronomice a poziției navei, deoarece:

– procedeul latitudinii meridiane sau circummeridiane impune ca astrul observat să fie la culminație, respectiv în limitele circummeridiane. Pe timpul zilei, deci, observațiile la Soare sunt limitate la un interval redus de timp, care variază funcție de φ și δ (vezi relația 22-7). Procedeul calculului latitudinii din înălțimea Polarei este aplicabil numai în emisfera nordică, practic la latitudini mai mari de 12°N;

– procedeul longitudinii are aplicabilitate cu valoarea practică în cazul când observatorul își cunoaște latitudinea cu suficientă precizie.

Față de cele arătate, procedeele de calcul ale latitudinii și longitudinii se aplică în practica navigației în următoarele situații:

– la determinarea punctului navei prin intersecția liniei de poziție obținute, paralelul sau meridianul locului, cu o dreaptă de înălțime care oferă o intersecție favorabilă (vezi cap. 23) sau cu o altă linie de poziție oarecare (costieră sau radio). Din acest punct de vedere, o aplicabilitate mai mare prezintă procedeele calculului latitudinii din înălțimea meridiană, circummeridiană sau înălțimea Polarei, date fiind precizia, simplitatea și rapiditatea ce le caracterizează;

– utilizarea ca o singură linie de poziție pentru aterizări pe anumite puncte la coastă, în cazul în care drumul de aterizare este de-a lungul unui paralel (aplicarea procedeelor de calcul ale latitudinii) sau al unui meridian (aplicarea calculului longitudinii);

– la determinarea punctului prin calculul separat al latitudinii și longitudinii, care se aplică în modul indicat în cele ce urmează.

1 Determinarea punctului navei pe timpul nopții

Se determină, mai întâi, latitudinea din înălțimea Polarei. Cu latitudinea astfel determinată, se calculează longitudinea din înălțimea observată la un astru aflat în afara limitelor circummeridiane; deoarece procedeul se aplică în timpul crepusculului, când se oferă condiții pentru alegerea astrului, se recomandă ca acesta să se afle pe cât posibil în apropierea primului vertical.

În practica observațiilor de seară și dimineața, altele decât la Polară, în zona ecuatorială sau în emisfera sudică, apar situații când calculul unghiului la pol la un astru aflat aproape de meridianul ceresc al locului arată că acesta se află în limitele circummeridiane; într-o asemenea situație, se recomandă aplicarea următorului procedeu: calcularea, mai întâi, a latitudinii din observația circummeridiană și apoi a longitudinii dintr-o înălțime la un astru oarecare (folosind latitudinea circummeridiană).

În ambele situații, dacă observațiile la cei doi aștri sunt executate simultan de doi observatori sau repede una după alta, de către același observator, astfel ca spațiul parcurs de navă între ele să poată fi considerat practic neglijabil, latitudinea calculată (din prima observație) va fi utilizată pentru determinarea longitudinii. În caz contrar, latitudinea calculată din prima observație se transportă în funcție de drum și spațiul parcurs de navă în intervalul de timp dintre observații, pentru momentul observației a doua, care se introduce ca φ în relația (22-17) pentru calculul longitudinii.

2 Determinarea punctului pe timpul zilei

Pe timpul zilei, procedeul calculului separat al latitudinii și longitudinii se aplică astfel:

– se execută prima observație în momentul culminației Soarelui sau imediat după culminație, în limitele circummeridiane, din care se calculează latitudinea;

– se execută a doua observație la Soare, după un interval de timp astfel ca astrul să aibă o poziție suficient de depărtată de limita vestică circummeridiană;

– se calculează latitudinea pentru momentul observației a doua din latitudinea meridiană, drumul navei, viteza și intervalul de timp dintre observații;

– se calculează longitudinea din înălțimea Soarelui în momentul observației a doua și latitudinea pentru același moment, determinată în momentul indicat mai sus.

Procedeul acesta se aplică în practica navigației când condițiile de observație dinainte de culminație nu permit măsurarea înălțimii Soarelui pentru determinarea poziției prin metoda dreptelor de înălțime (vezi cap. 23).

În această situație, când condițiile de observație devin favorabile în preajma culminației și se mențin în continuare, procedeul indicat mai sus oferă posibilitatea determinării poziției navei într-un interval de timp relativ scurt; metoda dreptelor de înălțime necesită un interval de timp de circa 3 ore (pentru asigurarea unei variații suficiente a azimutului Soarelui, ca unghi de intersecție a liniilor de poziție), iar procedeul calculului separat al latitudinii și longitudinii permite executarea observației a doua la circa 45–60 minute după culminația Soarelui.

23 DETERMINAREA PUNCTULUI NAVEI CU OBSERVAȚII ASTRONOMICE

§1 Generalități

Procedeele de calcul separat al latitudinii și longitudinii, așa cum s-a arătat în capitolul precedent, oferă posibilitatea unei rezolvări limitate a problemei de poziție în navigația astronomică, deoarece aștrii observați trebuie să aibă anumite poziții pe sfera cerească sau observatorul pe suprafața terestră (cazul latitudinii din înălțimea Polarei). Și totuși, acestea au fost singurele procedee de determinare a poziției navei, bazate pe observație, folosite în navigația la larg până în a doua jumătate a secolului trecut, când s-au fundamentat bazele teoretice și s-a stabilit modul practic de rezolvare a liniei de poziție astronomice, *dreapta de înălțime.*

Metoda *Marcq de Saint-Hilaire** sau *metoda dreptelor de înălțime* dă o soluție generală problemei de poziție în navigația astronomică. Dreapta de înălțime este linia de poziție obținută din înălțimea măsurată la un astru și poziția astrului observat pe sfera cerească.

Ca urmare, punctul navei în navigația astronomică se determină astfel:

– prin intersecția a două sau mai multe drepte de înălțime, simultane sau succesive;

– prin intersecția unei drepte de înălțime obținută din observația la un astru aflat într-o poziție oarecare pe sfera cerească, cu paralelul de latitudine calculată din înălțimea meridiană, circummeridiană sau din înălțimea Stelei Polare. Când condițiile de observație oferă posibilitatea calculului separat al latitudinii, prin unul din aceste procedee, se recomandă aplicarea lui pentru obținerea paralelului de latitudine – ca a doua linie de poziție, date fiind simplitatea și rapiditatea metodei.

Meridianul locului determinat prin calculul separat al longitudinii nu se mai folosește, de regulă, în practica navigației astronomice, decât în condițiile indicate la capitolul 22, § 6.

Desigur, punctul navei poate fi obținut și prin intersecția liniei de poziție astronomice cu o linie de poziție oarecare, costieră sau determinată prin unul din sistemele navigației electronice.

---

* Numele amiralului francez care a pus bazele metodei dreptelor de înălțime.

§2 Cercul de înălţime

În scopul facilitării înţelegerii naturii geometrice a liniei de poziţie determinată de înălţimea observată la un astru, facem o scurtă analogie cu linia de poziţie obţinută prin măsurarea unghiului vertical la un obiect. Pentru aceasta, ne imaginăm un far de o anumită înălţime, instalat pe o stâncă situată la larg. Ca o serie de observatori să măsoare acelaşi unghi vertical la far, ei trebuie să se plaseze faţă de

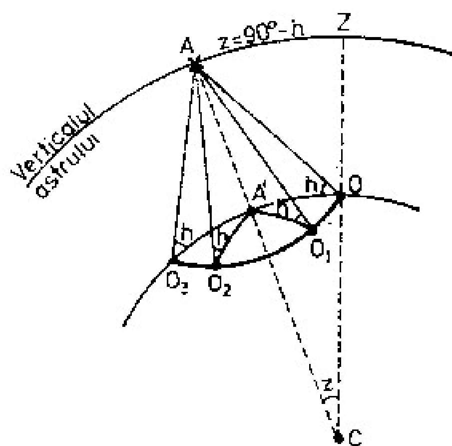


Fig. 23-1

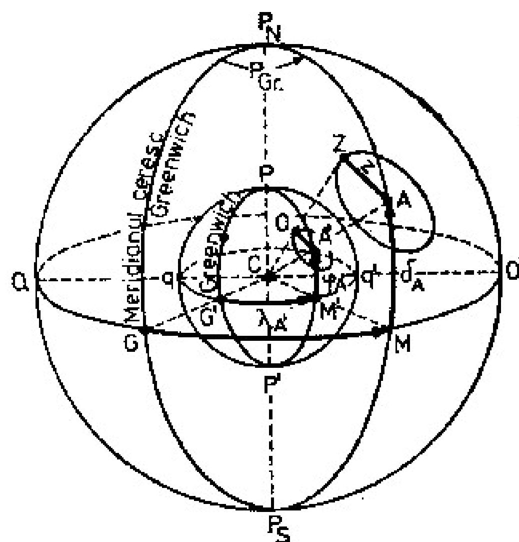


Fig. 23-2

acesta pe un cerc de rază egală cu distanţa la far, având centrul în baza farului sau, mai precis, în proiecţia lanternei farului pe suprafaţa sferei terestre.

Să considerăm acum un astru A pe sfera cerească (fig. 23-1). Pentru ca o serie de observatori să măsoare o aceeaşi înălţime h la astrul A, la un moment dat, ei trebuie să se plaseze – pe sfera terestră, pe un cerc O, O_1, O_2, etc...; centrul (polul) acestui cerc este *proiecţia terestră* A' a astrului, iar raza lui – egală cu *distanţa zenitală* a astrului $z = 90° - h$. Acest cerc reprezintă linia de poziţie determinată de înălţimea observată la un astru, în momentul respectiv şi se numeşte *cerc de înălţime* sau *cerc de egală distanţă zenitală*. Rezultă că, din punct de vedere geometric, cercul de înălţime este determinat de : coordonatele geografice ale proiecţiei terestre a astrului observat, ca centru şi distanţa zenitală a astrului, ca rază sferică.

Pentru a ilustra relaţiile care exprimă coordonatele proiecţiei terestre A' a astrului A (fig. 23-2), presupunem sfera terestră concentrică sferei cereşti, meridianul $PA'P'$, cercul orar al astrului P_NAP_S şi meridianul Greenwich; figura 23-2 arată că coordonatele geografice $\varphi_{A'}$ şi $\lambda_{A'}$ ale proiecţiei terestre A' sunt în următoarea relaţie cu coordonatele ecuatoriale ale astrului A:

$\varphi_{A'} = \delta_A$, deci latitudinea proiecţiei terestre a astrului este egală cu declinaţia astrului;

$\lambda_{A'} = P\mathrm{Gr.}_A$, deci longitudinea proiecţiei terestre este egală cu unghiul la pol al astrului faţă de meridianul ceresc la Greenwich, pentru momentul observaţiei. Acest unghi la pol se poate obţine prin aplicarea relaţiilor (15-4), din unghiul orar la Greenwich T scos direct din efemeridă pentru Soare, Lună şi plante, iar pentru stele din expresia (18-4): $T = Ts + \tau$.

Considerând mila marină egală cu lungimea arcului de minut de cerc mare pe sfera terestră, rezultă că raza cercului de înălțime, în mile marine, este egală cu distanța zenitală a astrului observat, în minute de arc.

Cercul de înălțime, ca linie de poziție terestră, se definește deci ca locul geometric al punctelor de pe care o infinitate de observatori măsoară aceeași înălțime la un astru, întrun moment dat. Elementele care determină cercul de înălțime, centrul și raza, se pot stabili de către observator cu ușurință, pe baza relațiilor definite mai sus.

Rezultă că, pentru a determina punctul navei din observațiile simultane la doi aștri, pe un glob care ar reprezenta sfera terestră, ar trebui să se traseze cercurile de poziție determinate de înălțimile măsurate la cei doi aștri; unul din punctele de intersecție a celor două cercuri de înălțime, aflat în apropierea punctului estimat, reprezintă poziția navei. Procedeul acesta, simplu din punct de vedere teoretic, nu satisface însă cerințele practice ale navigației, deoarece precizia oferită de rezolvarea grafică a problemei pe globuri de dimensiuni utilizabile la bord nu ar fi suficientă; astfel, pentru ca o milă marină să fie reprezentată de 1 mm, globul terestru ar trebui să aibă raza de 3.44 m, inutilizabil deci la bord pentru scopul urmărit.

De aceea, s-a impus găsirea unei alte soluții a problemei, care să o facă rezolvabilă pe harta Mercator și să satisfacă cerințele preciziei necesare în navigație.

§3 Dreapta de înălțime

1 Definirea dreptei de înălțime

Considerăm sfera terestră, pe care reprezentăm proiecția terestră A' a astrului A, cercul de înălțime și punctul estimat al navei Z (fig. 23-3). Punctul estimat al navei, la o distanță mai mare sau mai mică de cercul de înălțime funcție de eroarea în

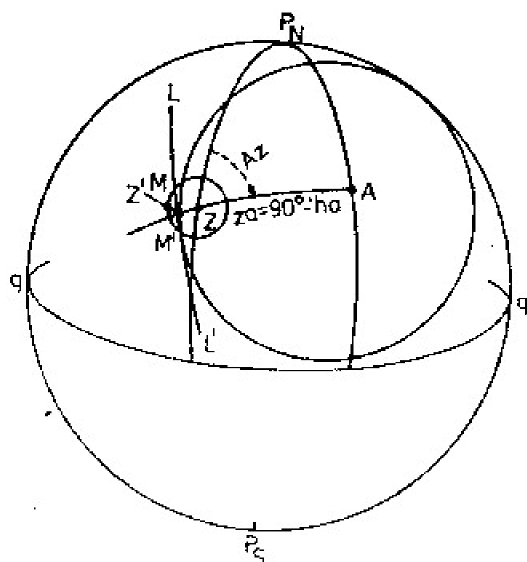


Fig. 23-4

estimă, este presupus exterior cercului de înălțime; cu centrul în Z și cu o rază egală cu eroarea maximă probabilă în estimă, se trasează cercul de incertitudine a estimei, în interiorul căruia se află poziția navei.

Față de cele arătate rezultă că *poziția navei se află pe arcul MM' al cercului de înălțime, determinat de intersecțiile acestuia cu cercul de incertitudine al estimei.*

Se tratează arcul de cerc mare $A'Z$, care unește proiecția terestră A' a astrului și punctul estimat al navei Z. Acesta este conținut în planul *verticalului*, ce formează cu meridianul punctului estimat Z un unghi egal cu *azimutul estimat* $Az = \sphericalangle P_N Z A'$; el reprezintă azimutul în care s-ar vedea astrul, dacă nava s-ar afla în punctul estimat. Arcul $A'Z$ intersectează cercul de înălțime în punctul Z', numit *punct determinativ*, care este punctul cel mai apropiat al acestui cerc față de punctul estimat al navei. Distanța dintre punctul determinativ Z' și punctul estimat al navei Z este măsura arcului:

$$\widehat{ZZ'} = \widehat{A'Z} - \widehat{A'Z'},$$

unde: $A'Z'$ este *raza cercului de înălțime adevărată a astrului, egală cu distanța zenitală adevărată* $za = 90° - ha$; $\widehat{A'Z}$ reprezintă *distanța zenitală estimată* $ze = 90° - he$, complementul *înălțimii estimate he* în care s-ar vedea astrul dacă observatorul s-ar afla în punctul estimat Z.. Rezultă că arcul ZZ' este dat de relația:

$$\widehat{ZZ'} = ze - za = (90° - he) - (90° - ha) = ha - he = \Delta h \qquad (23\text{-}1)$$

Diferența $\Delta h = ha - he$, dintre înălțimea adevărată și înălțimea estimată a astrului, în minute de arc, reprezintă distanța în mile marine dintre punctul estimat al navei Z și punctul determinativ Z' al cercului de înălțime. În cazul observatorului din fig. 23-3, când punctul estimat este exterior cercului de înălțime adevărată, *Δh este pozitiv:* observatorul se află în realitate *mai aproape* de proiecția terestră a astrului, înălțimea observată la astru este mai mare decât înălțimea estimată și deci *punctul determinativ Z' se află spre astru (în azimutul estimat al astrului), la o distanță Δh față de punctul estimat Z.*

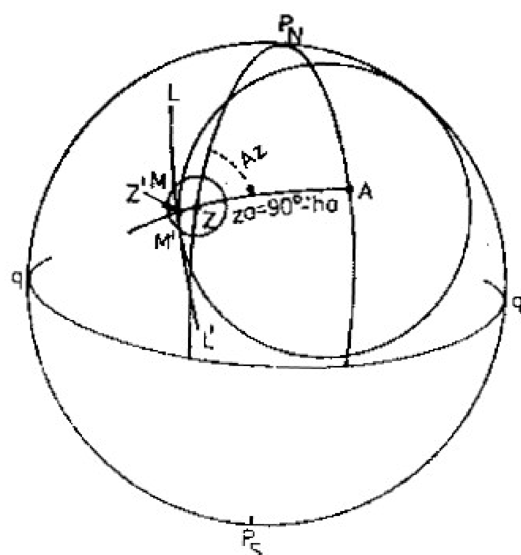


Fig. 23-4

În cazul când punctul estimat al navei Z se află în interiorul cercului de înălțime adevărată (fig. 23-4), *Δh este negativ:* observatorul se află în realitate *mai departe* de proiecția terestră a astrului, înălțimea observată la astru este mai mică decât înălți-

mea estimată și deci *punctul determinativ Z′ se află în sens opus astrului* (determinat de inversul azimutului estimat: $Az \pm 180°$), la o distanță Δh depunctul estimat Z..

Arcul $\widehat{MM'}$ al cercului de înălțime adevărată este neînsemnat în raport cu restul cercului de poziție, precum și față de raza $A'\widehat{Z'}$ a acestuia; astfel, de exemplu, pentru $ha = 40°$, raza cercului de înălțime $A'\widehat{Z'} = za = 90° - ha = 50° \times 60' = 3\ 000$ Mm, în timp ce arcul *MM′* nu depășește practic câteva mile, funcție de eroarea în estimă. Pe această bază, Marcq de Saint Hilaire a conceput trasarea liniei de poziție pe harta Mercator în raport de punctul estimat Z, în loc de proiecția terestră *A′* a astrului, înlocuind arcul *MM′* prin segmentul *MM′* al tangentei *LL′*, dusă la cercul de înălțime adevărată prin punctul determinativ *Z′*, numită *dreaptă de înălțime*. În limitele normale ale erorii în estimă, practic se poate considera că segmentul *MM′* al dreptei de înălțime se confundă cu arcul *MM′* al cercului de înălțime, ținând seama că raza acestui cerc este foarte mare.

Dreapta de înălțime este deci tangenta la cercul de înălțime în punctul determinativ; ea se consideră practic linia de poziție determinată de înălțimea observată la un astru, în anumite limite față de punctul determinativ.

Față de cele arătate mai sus rezultă că elementele ce determină dreapta de înălțime sunt *azimutul estimat Az* și $\Delta h = ha - he$, iar trasarea pe harta Mercator se face astfel (fig. 23-5):

– se trasează *azimutul estimat Az* prin punctul estimat al navei *Ze;*

– se stabilește punctul determinativ (*Z′ sau Z″*) în raport cu punctul estimat *Ze* la o distanță, în mile marine, egală cu Δh, în minute de arc, astfel: în sensul azimutului dacă $ha > he$, deci dacă Δh este pozitiv și în sens opus azimutului ($Az \pm 180°$), când $ha < he$, deci când Δh este negativ. În acest mod, arcul de cerc mare *ZZ′* (fig. 23-3), care separă punctul estimat al navei de punctul determinativ este reprezentat pe harta

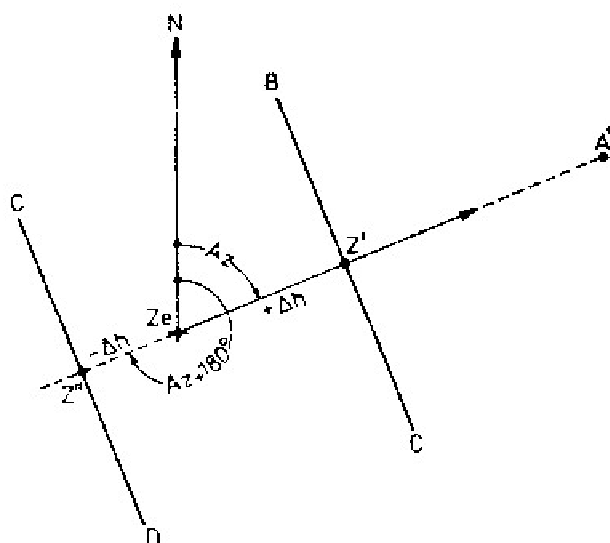


Fig. 23-5

Mercator printr-un arc loxodromic, trasându-se ca un segment de dreaptă; substituirea care se introduce nu afectează însă precizia metodei, deoarece Δh ia practic valori reduse, de ordinul minutelor;

– prin punctul determinativ (Z' sau Z''), se trasează dreapta de înălţime (*BC* sau *CD*), ca perpendiculară ridicată în ambele sensuri pe direcţia determinată de azimutul estimat.

2 Calculul elementelor dreptei de înălţime

Pentru trasarea dreptei de înălţime este necesară calcularea: *înălţimii adevărate ha, înălţimii estimate he* şi a *azimutului estimat Az*.

Înălţimea adevărată ha a astrului se obţine prin corectarea înălţimii instrumentale *hi* măsurată cu sextantul, în modul indicat la capitolul 20.

Înălţimea estimată he a astrului şi *azimutul estimat Az* se obţin prin rezolvarea *triunghiului sferic de poziţie estimată* $P_N Z_e A$ (fig. 23-6), corespunzător punctului estimat Z_e, (de latitudine estimată φ_e şi longitudine estimată λ_e), definit de următoarele elemente:

-- *vârfurile:* polul ridicat P_N, zenitul estimat Z_e (proiecţia punctului estimat al navei pe sfera cerească) şi astrul *A;*

– *laturile:* distanţa zenitală estimată $ze = 90° - he$, colatitudinea estimată $l = 90° - \varphi_e$ şi distanţa polară $p = 90° - \delta$;

– *unghiurile:* unghiul la zenit estimat *Z*, unghiul la pol estimat *P* (calculat din ora cronometrului pentru momentul observaţiei şi longitudinea estimată λ_e) şi unghiul la astru $\hat{A}$.

Înălţimea estimată he se calculează prin rezolvarea formulei înălţimii (15-7):

$$\sin he = \sin \varphi e \sin \delta + \cos \varphi e \cos \delta \cos P,$$

în modul indicat la capitolul 15, § 3, punctul 2 *a*.

De asemenea, înălţimea estimată poate fi calculată prin formula $\sin^2 \frac{ze}{2}$ (relaţia 15-8) sau *hav ze* (formula 15-10), în modul indicat la capitolul 15, § 3, punctul 2 *B* şi respectiv 2 *C*, precum şi cu rigla cilindrică de calcul (cap. 15, § 3, punctul 8) sau prin orice alt procedeu de calcul electronic (v. anexa I).

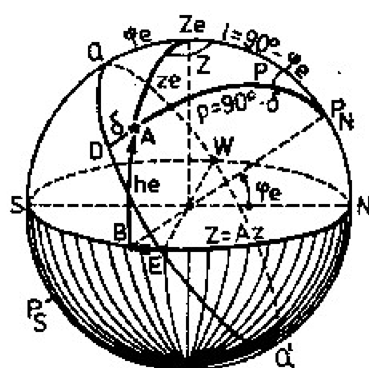


Fig. 23-6

Azimutul estimat Az se obţine din *unghiul la zenit estimat Z*, calculat ca unghi la zenit cuadrantal din formula (15-22):

$$\sin Z = \cos \delta \sin P \sec he,$$

în modul indicat la capitolul 15, § 3, punctul 7 sau cu orice *table de azimut*, respectiv procedeu de calcul electronic (v. anexa I), care permit o rezolvare suficient de precisă şi expeditivă a problemei.

Înălţimea estimată se calculează la precizie de 0′.1, iar azimutul estimat la precizie de 0°.1; în cazul calculului azimutului cu table de azimut, precizia se consideră suficientă în limitele de ±0°.5.

Din înălţimea adevărată *ha* şi înălţimea estimată *he*, astfel calculate, se determină diferenţa algebrică $\Delta h = ha - he$, la precizie de 0′.1.

Cunoscându-se azimutul şi Δh, se procedează la trasarea dreptei de înălţime în modul indicat mai sus.

Exemplul 1. În ziua de 10 noiembrie 1973 la ora cronometrului $A = 17^h12^m44^s$ se măsoară la *Vega (α Lirae)* $hi = 46°08'.7$. Punctul estimat al navei $\varphi e = 36°07'N$; $\lambda e = 30°15'.1$ E; ora bordului $0 = 19^h01^m$ (ora fusului 2 estic); $Tm - A = -11^m24^s$; $i = 12$ m; $\varepsilon = -0'.3$.

Se cer elementele dreptei de înălţime şi trasarea ei...

Rezolvare:

a – Calculul lui *P*

$A = 17^h12^m44^s$
$+(Tm - A) = -11\ 24$
$Tm = 17^h01^m20^s$ din 10.11.73

10.11 pentru $Tm = 17^h$ .... $Ts = 304°42'.5$
variaţia pt. $\Delta Tm = 1^m20^s$ .... $\Delta Ts = 0\ 20.1$
10.11 pentru $Tm = 17^h01^m20^s$ .... $Ts = 305\ 02.6$
$+\iota = 80\ 59.3$ ...$\delta = N\ 38°45'.7$
$T = 386\ 01.9$
-360
$T = 26\ 01.9$
$+\lambda e = +30\ 15.1$
$t = 56°17'.0 = P_W$

b – Calculul lui *he* şi *Az*

$\sin he = \sin \varphi e \sin \delta + \cos \varphi e \cos \delta \cos P = (+a) + (b)$

$\log \sin \varphi e = 9.77043$
$\log \sin \delta = 9.79663$
$\log a = 9.56706$

$\log \cos \varphi e = 9.90731$
$\log \cos \delta = 9.89196$
$\log \cos P = 9.74436$
$\log b = 9.54363$

$\log \cos \delta = 9.89196$
$\log \sin P = 9.92002$
$\log \sec he = 0.15784$
$\log \sin Z = 9.96982$
$Z = NW\ 68°.9$

$Az = 291°.1$

$a = +0.36903$
$+b = +0.34965$
$\sin he = +0.71868$
$\log \sin he = 9.85654$
$he = 45°56'.8$

c – Calculul lui Δh

$hi = 46°08'.7$
$+\varepsilon = -0\ .3$
$ho = 46\ 08.4$
$+Cor = -\ 7\ .2$
$ha = 46\ 01.2$
$-he = 45\ 56.8$
$\Delta h = +\ 4'.4$

d – Trasarea dreptei de înălțime pe hartă (fig. 23-7).

– prin punctul estimat al navei *Ze* (φe = 36°07′N; λe = 30°15′.1 E), se trasează azimutul estimat Az = 291°.1 al stelei;

– se determină punctul determinativ *Z′*, la o distanță de punctul estimat *Ze* egală cu Δh = +4′.4, măsurată pe scara latitudinilor crescânde, în sensul azimutului, deoarece Δh este pozitiv;

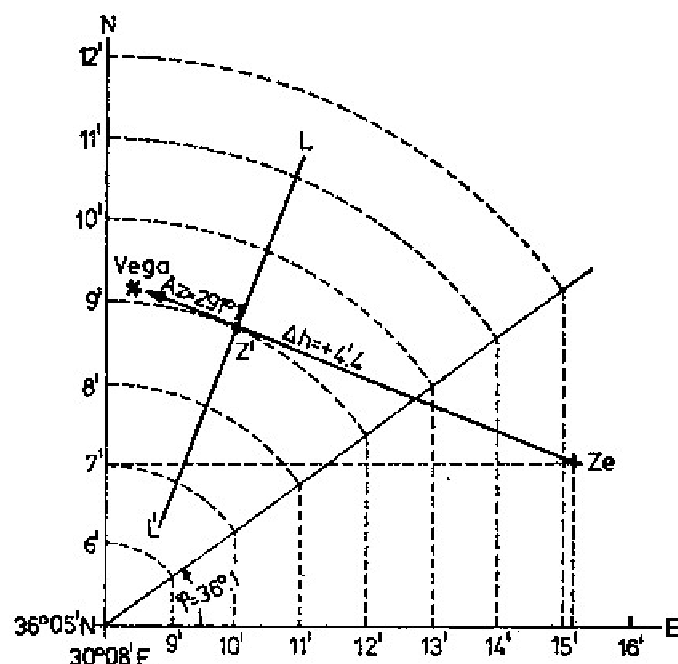


Fig. 23-7

– se trasează dreapta de înălțime *LL′*, ca perpendiculară pe azimutul estimat în punctul determinat *Z′*.

§4 Precizia dreptei de înălțime

Dreapta de înălțime poate fi afectată de două categorii principale de erori:

– *erori de observație*, în înălțimea observată la astru sau în stabilirea timpului pentru momentul observației;

– *erori proprii metodei dreptelor de înălțime*, ca urmare a aproximației introduse prin înlocuirea cercului cu dreapta de înălțime.

1 Efectul unei erori în înălțimea observată la astru

O eroare Δha în înălțimea adevărată a astrului observat se transmite în totalitate în diferența $\Delta h = ha - he$, care are ca efect deplasarea paralelă cu ea însăși a dreptei de înălțime, astfel:

– în sensul azimutului (spre astru), dacă înălțimea observată este mai mare decât cea reală;

– în sens opus azimutului, când înălțimea observată este mai mică decât cea reală.

Influența erorilor accidentale de observație, care afectează precizia înălțimilor observate la aștri, nu poate fi practic eliminată; ea poate fi însă micșorată prin folosirea procedeului mediei aritmetice a unei serii de înălțimi observate la astru. Prin *serie de înălțimi* se înțelege măsurarea repetată a înălțimii unui astru la intervale scurte de timp și pe cât posibil egale, de către același observator, cu același sextant și în aceleași condiții de observație; simultan cu măsurarea fiecărei înălțimi din serie, se citește ora cronometrului sau contorului. Se procedează apoi la calculul mediei înălțimilor și a mediei orelor citite la cronometru, care se folosesc ca date de observație pentru calculul elementelor dreptei de înălțime. Pe baza proprietăților erorilor accidentale, studiate de *teoria erorilor*, se demonstrează că într-o serie de observații ale aceleiași mărimi, executată în aceleași condiții, valoarea cea mai probabilă a mărimii este media aritmetică a seriei de observații; precizia mediei aritmetice crește cu numărul observațiilor din serie. Practic însă, dat fiind specificul observării aștrilor cu sextantul, se recomandă ca numărul înălțimilor măsurate la același astru să nu fie mai mare de 5–7, deoarece un număr mai mare de observații ar conduce la reducerea preciziei, prin obosirea observatorului. Procedeul se recomandă, îndeosebi, pentru observatorii cu o experiență redusă.

Posibilitatea aplicării procedeului seriei de înălțimi este condiționată însă de poziția astrului pe sfera cerească. Astfel, dacă analizăm formula (16-5):

$$\Delta h_t = -\sin Z \cos \varphi \, \Delta t,$$

care exprimă variația înălțimii Δh_t într-un interval de timp Δt în mișcarea diurnă, se observă că la o anumită latitudine φ, variația Δh_t este proporțională cu Δt numai când astrul se află în primul vertical $(Z = 90°)$. În acest caz deci, media orelor cronometrului corespunde mediei înălțimilor din seria observată la astru; practic, procedeul se poate extinde însă și în cazul aștrilor observați în apropierea primului vertical și chiar ai celor din afara limitelor circummeridiane, dacă intervalul de timp dintre prima și ultima observație este scurt.

Cele arătate duc la următaorele recomandări în practica navigației:

– când astrul se află în apropierea primului vertical, se iau serii de 3–7 înălțimi;

– dacă astrul se află în afara limitelor circummeridiane, seriile de observații se limitează la 3 înălțimi, executate la intervale cât mai scurte de timp.

Practica arată că eroarea medie în măsurarea înălțimilor la Soare de către un observator obișnuit, în condiții favorabile de observație, este în limitele de $\pm 0'.2$, iar pentru un observator experimentat, de $\pm 0'.1$. Desigur, eroarea poate fi mai mare în condiții dificile de observație (orizontul slab conturat, balans puternic al navei etc.).

2 Efectul unei erori în stabilirea timpului pentru momentul observației

O eroare în timpul mediu la Greenwich ΔTm, generată de suma aproximației în citirea cronometrului în momentul observației și de eroarea în starea absolută a cronometrului, se transmite ca o eroare ΔP în valoarea unghiului la pol. Ca urmare, proiecția terestră a astrului (a cărui longitudine este egală cu unghiul la pol la

Greenwich) este deplasată pe sfera terestră spre est sau vest, cu o cantitate egală cu ΔP, care are ca efect deplasarea întregului cerc de înălțime.

Considerăm dreapta de înălțime LL' definită de azimutul estimat $Az = \hat{Z}$ și $\Delta h = ZeZ'$ (fig. 23-8); eroarea $\pm\, \Delta P$ în unghiul la pol cauzează deplasarea punctului determinativ Z' spre est sau vest, în T sau T' astfel că $Z'T = Z'T' = \Delta P$ (în minute de arc), dacă aceste abateri se măsoară pe scara longitudinilor.

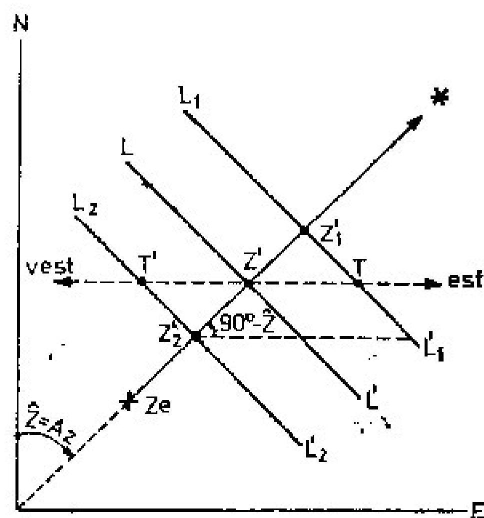


Fig. 23-8

Dacă abaterile Z'T și Z'T' se măsoară pe scara latitudinilor, valoarea lor în mile marine este: $\Delta P \cos \varphi$.

În acest caz rezultă că poziția navei se află în zona de incertitudine $L_1L'_1 - L_2L'_2$, delimitată de paralelele la dreapta de înălțime prin punctele T și T'; distanța $Z'_1Z'_2$, în mile marine, între paralelele $L_1L'_1$ și $L_2L'_2$ este:

$$Z'_1Z'_2 = TT' \cos (90° - \hat{Z}) = 1\ \Delta P \cos \varphi \sin \hat{Z}.$$

Această formulă arată că pentru o anumită eroare ΔP, lățimea zonei de incertitudine este maximă când astrul se află în primul vertical ($\hat{Z} = 90°$) și zero, dacă astrul se află la culminație ($\hat{Z} = 0°$ sau $\hat{Z} = 180°$); efectul erorii ΔP este deci maxim când astrul se află în primul vertical, nul – în cazul unui astru la culminație și neglijabil, în limitele circummeridiane.

În condițiile existente, mijloacele radio de la bord permit însă un control curent și precis al mersului cronometrului, cu ajutorul semnalelor orare; de aceea, valoarea maximă a erorii nu depășește practic 2 secunde (timp) = 0'.5, respectiv eroarea liniară maximă de 0.5 Mm.

3 Eroarea datorată înlocuirii cercului cu dreapta de înălțime

Considerăm proiecția terestră A' a astrului observat și arcul aa' al cercului de înălțime, cu punctul determinativ Z' (fig. 23-9).

Dreapta de înălțime se consideră ca linie de poziție determinată de înălțimea observată la un astru în limitele segmentului MM', simetrice în raport cu punctul

determinativ Z', în care practic acesta se confundă cu arcul MM' al cercului de înălţime. Eroarea care apare ca urmare a înlocuirii cercului cu dreapta de înălţime, reprezentată prin segmentul BC, dacă nava s-ar afla în B, variază în principal în funcţie de:

– distanţa BZ' dintre punctul navei şi punctul determinativ; eroarea creşte cu această distanţă;

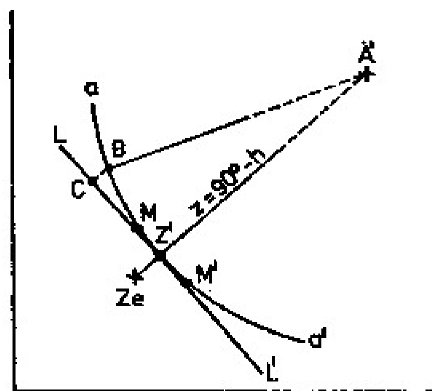


Fig. 23-9

– mărimea cercului de înălţime; eroarea variază invers cu raza $z = 90° - h$ a cercului de înălţime. Eroarea este, deci, cu atât mai mare, cu cât înălţimea astrului este mai mare şi invers.

La latitudini $\varphi < 60°$ şi la înălţimi ale aştrilor $h < 80°$, dreapta de înălţime se confundă practic cu cercul de înălţime până la o distanţă de aproximativ 35 Mm de punctul determinativ, de o parte şi de alta a acestuia; eroarea datorată înlocuirii cercului cu dreapta de înălţime în acest caz ia valori mai mici de 1 Mm.

În condiţii normale de navigaţie, distanţa dintre punctul navei şi punctul determinativ este de ordinul a câteva mile, iar eroarea datorată înlocuirii cercului cu dreapta de înălţime este neglijabilă; din acest punct de vedere, situaţia nu se schimbă chiar în condiţii hidrometeorologice dificile, dacă estima se ţine la zi cu atenţie.

Să presupunem însă că s-a procedat la determinarea astronomică a poziţiei navei prin intersecţia a două drepte de înălţime, care arată existenţa unei distanţe considerabile (mai mare de 35 Mm) faţă de unul sau de ambele puncte determinative; rezultă că eroarea cauzată de înlocuirea cercului cu dreapta de înălţime în acest caz poate fi apreciabilă. Eliminarea acestei erori se obţine determinând punctul navei prin aplicarea *procedeului aproximaţiilor succesive,* folosind datele de observaţie iniţiale, astfel:

– punctul obţinut din prima intersecţie a dreptelor de înălţime se consideră aproximativ;

– se scot coordonatele acestui punct aproximativ, care se folosesc pentru calculul elementelor dreptelor de înălţime din datele de observaţie (înălţimile şi citirile cronometrului) iniţiale;

– punctul navei se obţine prin intersecţia acestor drepte de înălţime (caracterizate prin diferenţe Δh mici), ale căror elemente au fost calculate din coordonatele punctului aproximativ.

§5 Determinarea punctului navei cu observații simultane

1 Executarea observațiilor

Determinarea punctului navei cu drepte de înălțime se bazează pe aplicarea principiului folosirii liniilor de poziție, tratat la capitolul 10, § 2.

În cazul navei în marș, punctul navei se determină cu observații *simultane* prin măsurarea a două sau mai multe înălțimi, repede una după alta, astfel ca spațiul parcurs de navă între prima și ultima observație să fie practic neglijabil.

Procedeul observațiilor simultane se aplică pe timpul nopții, când se văd doi sau mai mulți aștri deodată, în poziții care oferă condiții favorabile de observație și intersecție a dreptelor de înălțime; în anumite condiții astronomice, procedeul se aplică cu succes și pe timpul zilei, prin observarea simultană a Soarelui, Lunii, planetei Venus sau a stelei Sirius.

Punctul navei se determină prin intersecția a două sau mai multe drepte de înălțime oarecare; când condițiile de observație oferă posibilitatea determinării paralelului de latitudine din înălțimea meridiană, circummeridiană sau din înălțimea Polarei, aceasta se folosește cu prioritate ca linie de poziție, dat fiind simplitatea și rapiditatea procedeului.

Înălțimile aștrilor observați se recomandă a fi cuprinse între 12° și 75°; înălțimile mai mici pot fi afectate de erori de refracție, iar cele mai mari, de erori excesive cauzate de înlocuirea cercului cu dreapta de înălțime.

Intervalele de timp cele mai favorabile pentru executarea de observații simultane la aștri le constituie crepusculul de seară și dimineață. Pregătirea observațiilor de seară, în modul indicat la capitolul 21, § 3, punctul 4, pentru crepusculul de seară, prezintă o importanță deosebită pentru succesul aplicării procedeului.

Pe timpul crepusculului de seară se recomandă ca observațiile să înceapă cu aștrii cei mai luminoși și să se termine cu cei mai puțin luminoși; ordinea observațiilor este inversă în timpul crepusculului de dimineață.

Executarea observațiilor simultane este, de asemenea, posibilă și pe timpul nopților luminoase (cu Lună), vizibilitatea orizontului fiind însă mai redusă decât pe timpul crepusculului.

Precizia înălțimilor observate este condiționată în mod apreciabil de claritatea orizontului vizibil. De aceea, în timpul nopților luminoase și chiar al crepusculului, când orizontul este luminat în mod diferit, este indicat ca alegerea aștrilor să fie precedată de stabilirea porțiunilor de orizont care oferă condiții de observație mai favorabile. Se acordă apoi prioritate alegerii aștrilor aflați deasupra acestor arce de orizont, ținând seama de criteriile favorabile de azimut și de înălțime.

Observațiile simultane de zi la Soare, Lună, Venus sau chiar Sirius, în condițiile când se oferă posibilitatea, constituie un prilej deosebit de favorabil pentru determinarea punctului navei.

Venus este vizibil pe timpul zilei într-o mare parte a anului, cu excepția perioadelor când se află într-o direcție apropiată de Soare. Luminozitatea ei este maximă între digresiunea maximă și conjuncția inferioară, când se observă cu ochiul liber. Condiții similare de observație oferă și Sirius, fără a fi însă vizibil cu ochiul liber. Pentru observarea lui Venus și Sirius pe timpul zilei, este necesară însă

aplicarea procedeului de determinare aproximativă a azimutului și înălțimii astrului cu navisfera (vezi cap. 21, § 3, pct. 4); cu sextantul reglat la această înălțime, se privește prin lunetă în azimutul astrului și în apropierea orizontului va apare imaginea lui dublu reflectată. Aplicarea acestui procedeu pentru Venus impune, bineînțeles, trecerea pe navisferă a poziției planetei, cu coordonatele ecuatoriale scoase din tabla zilnică a efemeridei.

Procedeul observațiilor simultane pe timpul zilei prezintă interes practic îndeosebi în zonele de latitudini mici, în perioada de vară din emisfera respectivă, unde variația specifică a azimutului Soarelui (vezi cap. 15, § 5) nu permite aplicarea metodei observațiilor succesive.

2 Punctul navei cu două observații simultane

Când punctul navei se determină cu două observații, intersecția optimă a dreptelor de înălțime este sub un unghi de 90°; unghiul de intersecție a dreptelor de înălțime este egal cu diferența dintre azimuturile aștrilor.

Dacă condițiile de observație nu oferă posibilitatea alegerii a doi aștri care să se vadă sub un unghi apropiat de 90°, se recomandă ca diferența lor de azimut să nu fie mai mică de 30° sau mai mare de 150°.

În practica navigației, se folosesc următoarele procedee principale de determinare a punctului navei cu două observații simultane:

– două drepte de înălțime oarecare la aștri (stele, planete, Lună);

– o dreaptă de înălțime oarecare și o latitudine cu Polara;

– o dreaptă de înălțime și o latitudine din înălțimea circummeridiană la un astru; observațiile meridiane pentru calculul latitudinii se execută cu dificultate pe timpul nopții;

– pe timpul zilei, o dreaptă de înălțime la Soare și a doua la Lună, Venus sau Sirius (vezi punctul 1 de mai sus).

Punctul navei se determină astfel:

– se aleg aștrii care oferă condiții favorabile de observație, diferență de azimut și înălțime;

– se măsoară înălțimile la aștrii aleși, la intervale cât mai scurte de timp și se citesc simultan ora cronometrului (controlului) și lochul;

– se determină punctul estimat al navei pentru momentul observației și se scot coordonatele φe și λe;

– se calculează elementele dreptelor de înălțime în funcție de înălțimile observate, coordonatele aștrilor pentru momentul observației și coordonatele geografice ale punctului estimat;

– se trasează dreptele de înălțime pe hartă și la intersecția lor se obține punctul navei.

În navigația oceanică și, în general, la larg, în zone în care nu se dispune de hărți la o scară suficient de precisă, trasarea dreptelor de înălțime se efectuează folosind *scara grafică a latitudinii și longitudinii*, construită în modul indicat la capitolul 7, § 5, de preferință pe hârtie milimetrică.

Exemplul 2. În ziua de 10 noiembrie 1973, în punctul estimat φe = 28°06′N; λe = 31°08′W se fac următoarele observații:

$A_1 = 1^h40^m20^s$ la Capella $hi = 54°21'.8$

$A_2 = 1^h40^m46^s$ la Polară $hi = 29°03'.3$

Nava merge în $Da = 81°$, viteza 11 Nd; $(Tm - A) = -15^m16^s$; $i = 14$ m; $\varepsilon = -2'.2$

Se cere punctul observat al navei.

Dreapta I – Capella

a – Calculul unghiului la pol

$A = 1^h40^m20^s$
$+ (Tm - A) = -15\ 16$
$Tm = 1^h25^m04^s$ din 10.11.73

10.06 pentru $Tm = 1^h$ .... $Ts = 64°03'.1$
variația pentru $\Delta Tm = 25^m04^s$ .... $\Delta Ts = 6\ 17.0$
10.06 pentru $Tm = 1^h25^m04^s$ .... $Ts = 70\ 20.1$
$+ \iota = 281\ 17.9$ ...$\delta = N\ 45°58'.4$
$T = 351\ 38.0$
$+ \lambda e = +31\ 08.0$
$t = 320°30'$
$P_E = 360° - 320°30' = 39°30'$

b – Calculul *he* și *Az*

$$\sin he = \sin \varphi e \sin \delta + \cos \varphi e \cos \delta \cos P = (+a) + (+b)$$

$\log \sin \varphi e = 9.67303$
$\log \sin \delta = 9.85679$
$\log a = 9.52982$

$a = +0.33870$
$+b = +0.47301$
$\sin he = +0.81171$
$\log \sin he = 9.90940$
$he = 54°15'.8$

$\log \cos \varphi e = 9.94553$
$\log \cos \delta = 9.84193$
$\log \cos P = 9.88741$
$\log b = 9.67487$

$\log \cos \delta = 9.84193$
$\log \sin P = 9.80351$
$\log \sec he = 0.23358$
$\log \sin Z = 9.87902$
$Z = NE\ 49°.2$
$Az = 49°.2$

c – Calculul lui Δh

$hi = 54°21'.8$
$+ \varepsilon = -2.2$
$ho = 54\ 19.6$
$+Cor = -7.3$
$ha = 54\ 12.3$
$-he = 54\ 15.8$
$\Delta h = -3'.5$

II – – Calculul latitudinii din înălțimea Polarei

a – Calculul lui *ts*

$A = 1^h40^m46^s$
$+ (Tm - A) = -15\ 16$
$Tm = 1^h25^m30^s$

$Ts = 64°03'.1$
$+\Delta Ts = 6\ 23.5$
$Ts = 70\ 26.6$
$+\lambda e = -31\ 08.8$
$ts = 39°18'.6$

b – Calculul latitudinii

hi =	29°03′.3	$hi - 1°$ =	27°52′.7
+ ε =	– 2 .2	a_0 =	+ 7.9
ho =	29 01.1	a_1 =	+ 0.6
+Cor =	– 8 .4	a_2 =	+ 0.8
ha =	28°52′.7	φ =	28°02′.0 N

Se trasează dreptele de poziţie (fig. 23-10) astfel calculate şi se obţine *punctul observat* al navei Z : φ = 28°02′.0 N; λ = 31°09′.3 W

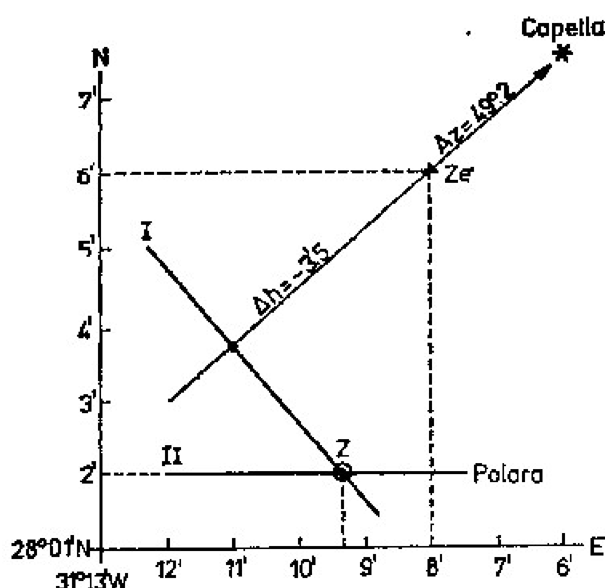


Fig. 23-10

3 Punctul navei cu trei observaţii simultane

Procedeul determinării punctului cu două observaţii simultane îşi găseşte o largă aplicare în navigaţie; precizia lui este funcţie de precizia observaţiilor şi acurateţea calculului. Prezintă însă dezavantajul general al procedeului determinării poziţiei navei prin intersecţia a două linii de poziţie de a nu oferi posibilitatea controlului preciziei punctului obţinut.

Procedeul determinării punctului cu trei observaţii înlătură acest dezavantaj prin faptul că, în cazul existenţei unor erori de observaţie sau calcul, dreptele de înălţime nu se mai intersectează într-un singur punct, ci formează trei intersecţii, dând naştere unui *„triunghi al erorilor“*; acesta permite aprecierea preciziei dreptelor de înălţime şi, uneori, chiar posibilitatea stabilirii originii erorii. De aceea, *se recomandă ca procedeul determinării punctului navei cu trei observaţii să fie aplicat întotdeauna când condiţiile de observaţie permit.*

Erorile de observaţie, sunt în general, de două feluri: accidentale şi sistematice (vezi cap. 10, § 4); efectul erorilor accidentale poate fi micşorat prin folosirea *mediei înălţimilor* unei serii de observaţii (vezi § 4), care reprezintă valoarea cea mai probabilă a înălţimii astrului pentru momentul mediu al observaţiei. De asemenea, seria de înălţimi permite identificarea cu uşurinţă a eventualelor observaţii afectate

de erori mari („erori grosiere“), după variația înălțimilor din serie; aceste înălțimi se elimină din calculul mediei înălțimilor.

Presupunem că influența erorilor accidentale a fost redusă pe această cale. Să analizăm acum care este acțiunea unei erori sistematice asupra dreptelor de înălțime folosite la determinarea poziției navei.

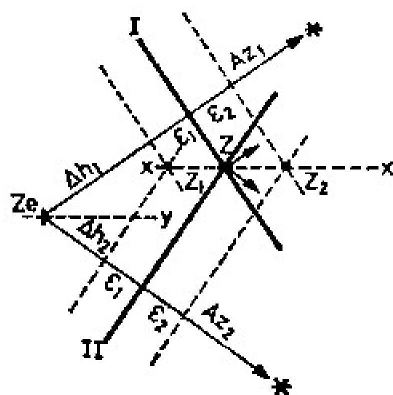


Fig. 23-11

Pentru aceasta, considerăm mai întâi că punctul navei a fost determinat cu două drepte de înălțime, definite de elementele Az_1 Δh_1 și Az_2, Δh_2, care se intersectează în punctul Z (fig. 23-11).

Dacă ambele înălțimi sunt afectate de o aceeași eroare sistematică ε_1, punctul navei ar fi Z_1; dacă eroarea este ε_2 de semn contrar cu ε_1, punctul navei este Z_2. Se observă deci că în cazul în care cele două înălțimi sunt afectate de o aceeași eroarea sistematică, punctul navei se află pe acea bisectoare xx' a unghiului format prin intersecția dreptelor de înălțime, care este paralelă cu bisectoarea Zey, a unghiului dintre direcțiile azimuturilor. Bisectoarea xx' se numește *dreaptă de poziție adevărată.*

Dreapta de poziție adevărată se consideră drept loc geometric al poziției navei între limitele determinate de valorile maxime pe care le poate lua suma erorilor sistematice de observație, constituite în principal din: erori în depresiunea orizontului și refracția astronomică, cauzate de o refracție deosebită în momentul observației, eroarea de paralelism a oglinzilor sextantului diferită de corecția indicelui luată în calculul înălțimii adevărate și erori proprii observatorului.

S-a arătat mai sus că dreapta de poziție adevărată xx' este paralelă cu bisectoarea Zey a unghiului format între direcțiile azimuturilor; pentru a facilita trasarea dreptei de poziție adevărată (evitând trasarea bisectoarei perpendiculare pe ea), se folosește următoarea regulă practică:

– prin punctul de intersecție Z al dreptelor de înălțime se duc (cu mâna liberă) două săgeți (fig. 23-11), paralele și de același sens cu azimuturile aștrilor;

– se trasează dreapta de poziție adevărată xx', în ambele sensuri, ca bisectoarea a acelui unghi determinat de intersecția dreptelor, astfel ca aceasta să treacă printre cele două săgeți.

Considerăm acum că s-au măsurat trei serii de înălțimi la trei aștri și nu s-au stabilit observații afectate de „erori grosiere“. Se fac mediile înălțimilor orelor cronometrului, pentru observațiile la cei trei aștri, cu care se calculează elementele dreptelor de înălțime.

Dacă dreptele de înălțime se intersectează în același punct, care reprezintă poziția navei, înseamnă că observațiile nu au fost afectate de erori sistematice; când triunghiul este mic, poziția navei se consideră în centrul de greutate al acestuia.

Dacă triunghiul determinat de intersecția dreptelor de înălțime este mare (fig. 23-12 și 23-13), explicația cea mai probabilă a apariției lui este dată de existența

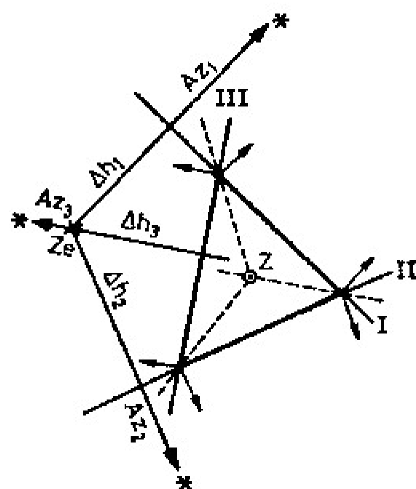


Fig. 23-12

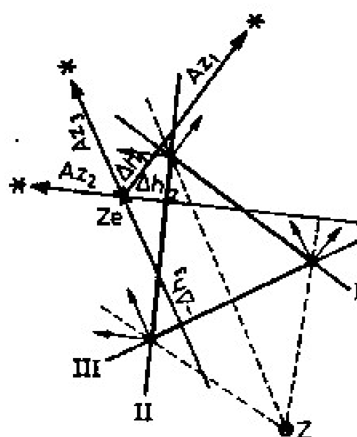


Fig. 23-13

unei erori sistematice de observație. În acest caz, punctul navei se obține la intersecția de poziție adevărată, trasate în modul indicat mai sus; punctul navei poate fi în interiorul triunghiului erorilor (fig. 23-12) sau exterior acestuia (fig. 23-13).

§6 Determinarea punctului navei prin reducerea înălțimilor la același zenit

Odată cu deplasarea navei pe suprafața sferei terestre, verticala locului (linia zenit-nadir) se schimbă continuu și concomitent – orizontul observatorului; acesta coboară în prova și se ridică în pupa navei, axa de rotație fiind axa sa transversală.

Ca urmare, dacă am considera un astru imobil pe sfera cerească (în sensul că nu ar participa la mișcarea diurnă și nu ar avea o mișcare aparentă proprie), înălțimea acestuia pentru observatorul de la bord ar avea o anumită variație Δ_{hm}, determinată de deplasarea navei. Pentru a stabili relația care-i exprimă valoarea, considerăm că se execută măsurarea succesivă a înălțimilor h_1 și h_2 la același astru A (fig. 23-14), separate de un interval de timp Δt, relativ mic, în care nava parcurge spațiul $m = V.\Delta t$, în drumul $D = \sphericalangle NOC = \sphericalangle NZ_1C$; în figura 23-14 mai reprezentăm:

– Z_1, zenitul observatorului în momentul primei observații la A, când distanța zenitală este $\overset{\frown}{Z_1A} = 90° - h_1$;

– Z_2, zenitul observatorului pentru momentul observației a doua, când distanța zenitală este $\overset{\frown}{Z_2A} = 90° - h_2$;

– arcul $\widehat{Z_1Z_2}$, egal cu arcul m parcurs de navă pe sfera terestră în intervalul Δt dintre observații; deoarece acest arc loxodromic este mic, se poate considera că el se confundă cu arcul de cerc mare corespunzător. Astfel, măsura arcului $\widehat{Z_1Z_2}$ în minute de arc este egală cu spațiul m parcurs de navă, în mile marine.

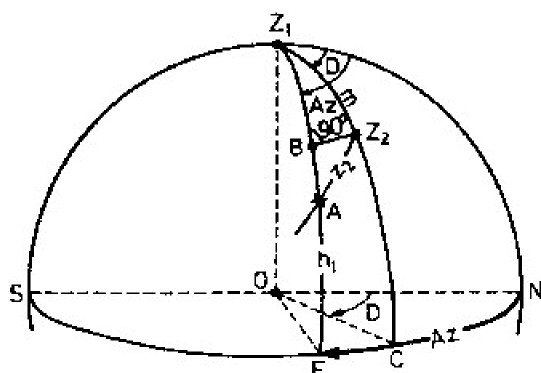


Fig. 23-14

Coborând perpendiculara sferică Z_2B pe verticalul astrului A pentru momentul primei observații, se obține triunghiul sferic Z_1Z_2B, în care cateta Z_1B reprezintă variația distanței zenitale Δz; acest triunghi fiind mic (cu laturile de ordinul a câteva minute) poate fi considerat plan, astfel că:

$$Z_1B = \Delta z = m \cos (Az - D).$$

Și, deoarece variația distanței zenitale Δz este egală în valoare absolută cu variația înălțimii Δh_m:

$$\Delta h_m = m \cos (Az - D) \qquad (23\text{-}2),$$

relație care exprimă variația Δh_m a înălțimii astrului A determinată de parcurgerea spațiului m, relativ mic.

Față de cele arătate rezultă că, dacă se măsoară înălțimile la doi aștri A și B, la un interval de timp în care nava parcurge un spațiu m, relativ mic, de ordinul a câteva mile marine, astfel că observațiile nu pot fi considerate simultane, punctul navei se poate determina astfel:

– prin transportul dreptelor de înălțime, aplicând procedeul observațiilor succesive (vezi cap. 10, §5 și §7).

– prin *reducerea înălțimilor la același zenit*, de regulă pentru zenitul observației a doua, astfel: se calculează variația Δh_m a înălțimii h_A a astrului A cauzată de spațiul m parcurs de navă în intervalul de timp dintre observații; se face suma algebrică $h_A + \Delta h_m = h'_A$, care reprezintă înălțimea pe care observatorul ar fi măsurat-o la astrul A în momentul observației a doua.

A reduce înălțimile la același zenit, în cazul observației celor doi aștri, înseamnă deci a determina înălțimile pe care observatorul le-ar măsura dacă nava ar fi staționară în punctul (zenitul) pentru care se face reducerea. Astfel, înălțimile reduse la același zenit pot fi considerate simultane, problema determinării poziției rezolvându-se în modul indicat mai sus la §5, punctul 2.

Când spațiul m parcurs de navă între observații este mic, cum este în cazul măsurării seriilor de înălțimi pe timpul crepusculului și al nopților luminoase, precum și în general la navele cu viteză mare, se recomandă aplicarea procedeului

reducerii înălțimilor la același zenit. Procedeul grafic al transportului dreptelor de înălțime, în special când se lucrează pe hărți la scară mică, este incomod și mai puțin precis.

În practica procedeului reducerii înălțimii la același zenit, așa cum se arată în exemplul de mai jos, variația Δh_m nu se aplică la înălțimea h_A, ci la diferența $\Delta h_A = h_A - he$, deci $\Delta h'_A = \Delta h'_A + \Delta h_m$, ceea ce nu modifică cu nimic fondul problemei.

Formula (23-2) pentru calculul variației înălțimii Δh_m se rezolvă astfel:

– spațiul m se determină din diferența citirilor la loch făcute în momentele observațiilor sau din relația $m = V.\Delta t$; intervalul de timp Δt se obține din diferența orelor cronometrului pentru momentele măsurării înălțimilor la aștri;

– Az reprezintă azimutul estimat al astrului calculat pentru trasarea dreptei de înălțime. Valoarea naturală cos $(Az - D)$ se scoate la precizie de 0.01 și este pozitivă dacă $Az - D = Rp$ la astru este cuprins între 0° – 90°, respectiv între 270°–360°, deci când astrul se vede înaintea traversului; cos $(Az - Da)$ este negativ dacă $(Az - D) = Rp$ este cuprins între 90–270°, când astrul se vede înapoia traversului;

– m este pozitiv dacă punctul (zenitul) pentru care se face reducerea este posterior celui pentru momentul observației și negativ, când acest punct (zenit) este anterior.

Variația Δh_m este maximă când astrul se află în prova sau pupa navei (Δh_m în minute de arc egal cu m, în mile marine) și zero, dacă astrul este la travers.

Formula (23-2) poate fi rezolvată și cu *tabla 16 (MT-53)*; valorile conținute în tablă sunt calculate după formula:

$$\Delta h_1 = \frac{V}{60} \cos (Az - D)$$

în care Δh_1 este variația înălțimii astrului, în minute de arc, determinată de spațiul parcurs de navă în timp de 1 minut, iar V este viteza navei, în noduri. Deci: $\Delta h_m = h_1 . \Delta t$ (min.).

În cazul măsurării înălțimii la trei aștri A, B, și C, observațiile se reduc, obișnuit, la zenitul observației a doua (B), procedeul de lucru fiind următorul:

– simultan cu măsurarea înălțimilor h_A, h_B, h_C și citirile cronometrului, se fac și citirile la loch cl_A cl_B și cl_C;

– se determină punctul estimat al navei pentru momentul observației B (pentru care se face reducerea înălțimilor);

– se calculează elementele celor trei drepte de înălțime cu coordonatele aceluiași punct estimat (pentru care se face reducerea înălțimilor) și se obțin: Az_A, Δh_A; Az_B Δh_B; Az_C, Δh_C;

– se calculează variația înălțimii Δh_m a astrului A funcție de spațiul $m_A = cl_B - cl_A$, deci $\Delta h_{m(A)} = m_A \cos (Az_A - D)$ și se face reducerea la momentul observației a doua:

$\Delta h'_A = \Delta h_A + \Delta h_{m(A)}$; momentul reducerii fiind posterior, m_A este pozitiv.

Se execută aceeași operațiune pentru astrul C, la care $m_C = cl_C - cl_B$, iar $\Delta h_{m(C)} = m_C \cos (Az - D)$ și se face reducerea la momentul observației a doua: $\Delta h'_C = \Delta h_C + \Delta h_{m(C)}$; în acest caz m_C este negativ, deoarece momentul reducerii este anterior.

Diferențele $\Delta h'_A$, $\Delta h'_B$ și $\Delta h'_C$, astfel determinate, reprezintă elementele pentru trasarea celor trei drepte de înălțime ca și când observațiile ar fi fost executate simultan în punctul observației a doua;

– se trasează cele trei drepte de înălțime prin punctul estimat al observației a doua, aplicând procedeul observațiilor simultane și la intersecția lor se obține punctul observat.

Exemplul 3. În ziua de 12.07.1973 se fac următoarele observații:

$A_1 = 2^h29^m41^s$ la Achernar $hi = 52°31'.0$ $cl_1 = 64.1$ Mm;

$A_2 = 2^h40^m28^s$ la Jupiter $hi = 25°10'.0$ $cl_2 = 66.3$ Mm;

Nava merge în $Da = 50°$, viteza 12.0 Nd; $(Tm - A) = +34^s$; $i = 12$ m; $\varepsilon = +1'.0$; factorul de corecție al lochului = 1.00.

Punctul estimat al navei în momentul observației la Jupiter $\varphi e = 20°03'$ S; $\lambda_e = 51°20'$ E. Ora bordului 0 = 05.41 (ora fusului 3 estic).

Să se determine punctul navei prin reducerea înălțimilor la zenitul ultimei observații.

Dreapta I – Achernar

a – Calculul lui *P*

$A = 2^h29^m41^s$

$+(Tm - A) = +\ 34$

$Tm = 2^h30^m15^s$ din 12.07

12.07. pentru $Tm = 2^h$ .... $TS = 319°49'.8$

Var. pentru $\Delta Tm = 30^m15^s$........... $\Delta TS = 7\ 35.0$

12.07 pentru $Tm = 2^h30^m15^s$ .... $TS = 327\ 24.8$

$+\tau = 335\ 48.9$ $\qquad \delta = S\ 57°21'.8$

$T = 663\ 13.7$

-360

$T = 303°13.7$

$+\lambda_e = +51\ 20.0$

$t = 354°33'.7$

$P_E = 5°26'.3$

b – Calculul lui *he* și *Az*

$$\sin he = \sin \varphi e \sin \delta + \cos \varphi e \cos \delta \cos P = (+a) + (b)$$

$\log \sin \varphi e = 9.53509$

$\log \sin \delta = 9.92536$

$\log a = 9.46045$

$\log \cos \varphi e = 9.97285$

$\log \cos \delta = 9.73184$

$\log \cos P = 9.99804$

$\log b = 9.70273$

$\log \cos \delta = 9.73184$

$\log \sin P = 8.97669$

$\log \sec he = 0.21525$

$\log \sin Z = 8.92378$

$Z = SE\ 4°.8$

$Az = 175°.2$

$a = +0.28870$

$+b = +0.50434$

$\sin he = +0.79304$

$\log \sin he = 9.89929$

$he = 52°28'.2$

c – Calculul lui Δh_m

$Az = 175°.2$

$-Da = 50°.0$

$(Az - Da) = 125°.2$

$m = cl_2 - cl_1 = 2.2$ Mm

$\Delta h_m = m \cos (Az - Da) = 2.2\ (-0.58) = -1'.3$

d – Calculul lui $\Delta h'$

$hi = 52°31'.0$

$+\varepsilon = +1.0$

$ho = 52\ 32.0$

$+\text{cor} = -7.0$

$ha = 52\ 25.0$

$-he = 52\ 28.2$

$\Delta h = -3\ .2$

$+\Delta h_m = -1.3$

$\Delta h' = -4'.5$

Dreapta II – Jupiter

a – Calculul lui *P*

$A = 2^h40^m28^s$
$+(Tm - A) = + \quad 34$

$Tm = 2^h41^m02^s$ pt. 12.07

12.07. pt. $Tm = 2^h$	$T = 7°41'.8$ ($v = 2'.8$) ...	$\delta = S\ 18°32'.6$ ($d = 0'.1$
var. pt. $\Delta Tm = 41^m02^s$	$\Delta_1 T = 10\ 15.5$	$\Delta\delta = 0'.1$
Cor. pt. ΔTm și v	$\Delta_2 T = 1.9$	
12.07 pt. $Tm = 2^h41^m02^s$	$T = 17\ 59.2$	$\delta = S\ 18°32'.7$
	$+ \lambda e = 51\ 20.0$	
	$t = 69°19'.2 = P_w$	

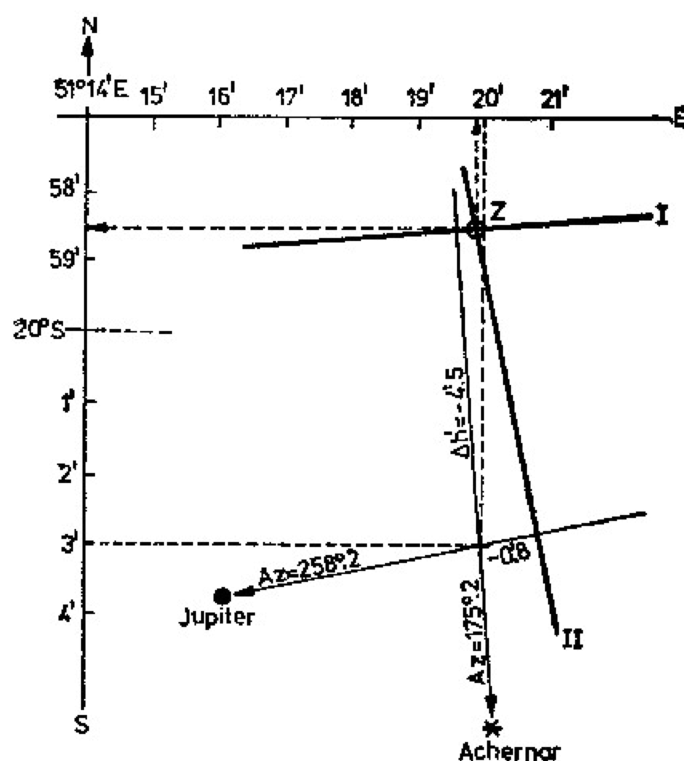


Fig. 23-15

b – Calculul lui *he* și *Az*.

$$\sin he = \sin \varphi e \sin \delta + \cos \varphi e \cos \delta \cos P = (+a) + (+b)$$

$\log \sin \varphi e = 9.53509$	$\log \cos \varphi e = 9.97285$	$\log \cos \delta = 9.97685$
$\log \sin \delta = 9.50250$	$\log \cos \delta = 9.97685$	$\log \sin P = 9.97108$
$\log a = 9.03759$	$\log \cos P = 9.54795$	$\log \sec he = 0.04288$
	$\log b = 9.49765$	$\log \sin Z = 9.99081$
$a = +0.10904$		$Z = SW\ 78°.3$
$+b = +0.31452$		$Az = 258°.3$
$\sin he = +0.42356$		
$\log \sin he = 9.62692$		
$he = 25°03'.6$		

c – Calculul lui Δh

hi =	25°10′.0
+ ε = +	1.0
ho =	25 11.0
+ cor =	– 8.2
ha =	25 02.8
$-he$ =	25 03.6
Δh =	–0 .8

d – Se trasează cele două drepte de înălțime, ca observații simultane, pentru momentul observației la Jupiter și se obține *punctul observat Z:* φ = 19° 58′.6 S; λ = 51°19′.8 E (fig. 23-15).

§7 Determinarea punctului navei cu observații succesive la aștri

Procedeul aplică metoda transportului liniilor de poziție (cap. 10, §5) și se folosește obișnuit pe timpul zilei, când observațiile sunt posibile numai la soare, precum și pe timpul nopții, când înălțimile se măsoară la un interval de timp considerabil datorită condițiilor de observație (cerul parțial acoperit, orizontul parțial neclar etc.), astfel că problema nu poate fi rezolvată prin reducerea înălțimilor la același zenit.

Pe timpul zilei, se utilizează în mod frecvent următoarele observații succesive la Soare:

– Două observații succesive oarecare înainte de culminația Soarelui;

– o observație oarecare în cursul dimineții, când Soarele are o înălțime suficientă și a doua la culminație sau circummeridiană;

– observația meridiană sau circummeridiană și una oarecare după culminație. Când variația azimutului Soarelui este mai mică de 30°, se recomandă determinarea punctului prin calculul separat al latitudinii și longitudinii (vezi cap. 22, §6);

– o observație oarecare înainte de culminație și una oarecare după culminația Soarelui, când înălțimea meridiană sau circummeridiană nu se poate măsura datorită condițiilor de observație.

În toate situațiile, observația a doua se execută după ce azimutul Soarelui, controlat cu alidada, a avut o variație minimă de 30° față de momentul primei observații; pentru o intersecție favorabilă a dreptelor de înălțime, se recomandă ca această variație să fie de 40°–60°.

Pentru determinarea punctului navei cu două observații succesive oarecare la Soare, se procedează astfel (fig. 23-16):

– se face prima observație la Soare și se calculează elementele dreptei de înălțime Az_1 și Δh_1, cu coordonatele punctului estimat corespunzător Ze_1;

– după ce azimutul Soarelui a avut o variație suficientă, astfel ca să se asigure un unghi favorabil de intersecție a dreptelor de înălțime, se execută observația a doua;

– se determină punctul estimat Ze_2 în raport de Ze_1, în funcție de drumul deasupra fundului *D* și distanța parcursă *m* (obținută prin corectarea diferenței citirilor la loch). Când scara hărții este mică, deci insuficient de precisă, coordonatele lui Ze_2 se determină prin calcul (vezi cap. 9, §6);

– se calculează elementele dreptei de înălţime Az_2 şi Δh_2 pentru observaţia a doua, cu coordonatele lui Ze_2;

– se trasează cele două drepte de înălţime prin punctul estimat Ze_2 şi la intersecţia lor se obţine *punctul observat-estimat* al navei; prima dreaptă se consideră transportată din Ze_1 în Ze_2, în funcţie de D şi m.

Fig. 23-16

În cazul determinării punctului navei cu o observaţie oarecare la Soare şi una meridiană, punctul estimat pentru momentul culminaţiei (a cărei longitudine este necesară pentru calculul orei culminaţiei), se obţine din viteza navei şi intervalul de timp dintre momentul primei observaţii şi cel al culminaţiei Soarelui, *care este egal cu unghiul la pol (la est) al primei observaţii;* deşi acesta este un interval de timp solar adevărat, pentru precizia calculului orei culminaţiei el poate fi considerat ca interval de timp mediu. Pentru determinarea punctului însă, în momentul măsurării înălţimii meridiane se citeşte lochul (cl_2), care se foloseşte pentru obţinerea lui Ze_2 în raport cu Ze_1, în modul arătat mai sus; la intersecţia primei drepte de înălţime, trasată prin Ze_2 cu paralelul latitudinii calculate din înălţimea meridiană (sau circummeridiană), se obţine *punctul observat-estimat* al navei (fig. 23-17).

Pe timpul nopţii, observaţiile succesive se execută la aştri diferiţi; alegerea aştrilor se face astfel ca diferenţa azimuturilor să fie cât mai apropiată de 90°, nu mai mică însă de 30° şi nu mai mare de 150°.

Eroarea punctului estimat Ze_2 în raport de Ze_1 se transmite în totală măsură în punctul observat-estimat obţinut prin intersecţia dreptelor de înălţime; de aceea, se impune ca ţinerea estimei între cele două observaţii să se facă cu o atenţie deosebită, astfel ca drumul deasupra fundului şi distanţa parcursă în acest interval de timp să se poată determina cu cât mai multă precizie.

Exemplul 4. În ziua de 9 noiembrie 1973 în punctul estimat Ze_1 ($\varphi e_1 = 43°05$ N; $\lambda e_1 = 29°06'$ E), ora bordului $0_1 = 10.31$ (ora fusului 2 estic), se fac următoarele observaţii la Soare:

– $A_1 = 8^h41^m44^s$... *hi* $\underline{\odot} = 27°29'.3$, citirea la loch $cl_1 = 41$ Mm; nava merge în *Da* = 42°, viteza 12 Nd.

La ora 13.43 se face a doua observație la Soare:

$-A_2 = 11^h53^m46^s$ ... hi ⊙ 23°35′.9, citirea la loch $cl_2 = 79.4$ Mm. Factorul de corecție al lochului = 1.00; $Tm - A = -10^m24^s$; $i = 10$ m; $\varepsilon = -1'.2$.

Să se determine punctul navei pentru momentul observației a doua.

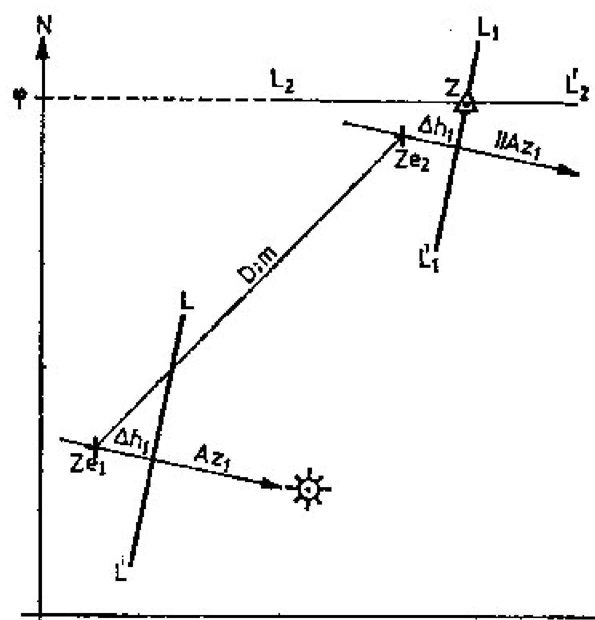


Fig. 23-17

Dreapta I – Soare

a – Calculul lui *P*

$A = 8^h41^m44^s$

$+(Tm - A) = -10\ \ 24$

$Tm = 8^h31^m20^s$ din 9.11

9.11. pt. $Tm = 8^h$	$Ta = 304°02'.4$ ($v = 2'.8$) ...	$\delta = S\ 16°51'.1$ ($d = 0'.7$
Var. pt. $\Delta Tm = 31^m20^s$	$\Delta Ta = 7\ 50.0$	$\Delta\delta = 0'.4$
9.11 pt. $Tm = 8^h31^m20^s$	$Ta = 311\ 52.4$	$\delta = S\ 16°51'.5$
	$+\lambda e = +29\ 06.0$	
	$ta = 340°58'.4$	
	$P_E = 360° - ta = 19°01'.6$	

b – Calculul lui *he* și *Az*.

$$\sin he = \sin \varphi e \sin \delta + \cos \varphi e \cos \delta \cos P = (+a) + (+b)$$

$\log \sin \varphi e = 9.83446$	$\log \cos \varphi e = 9.86354$	$\log \cos \delta = 9.98092$
$\log \sin \delta = 9.46241$	$\log \cos \delta = 9.98092$	$\log \sin P = 9.51323$
$\log a = 9.29687$	$\log \cos P = 9.97560$	$\log \sec he = 0.05231$
	$\log b = 9.82006$	$\log \sin Z = 9.54646$
		$Z = SE\ 20°.4$
		$Az = 159°.6$

$a = -0.19810$

$+b = +0.66079$

$\sin he = +0.46269$

$\log \sin he = 9.66529$

$he = 27°33''.7$

d – Calculul lui *ha* și Δh

$$\begin{array}{r l}
hi = & 27°29'.3 \\
+\varepsilon = & -1'.2 \\
\hline
ho = & 27°28'.1 \\
+\text{Cor.} = & +8'.9 \\
\hline
ha = & 27°37'.0 \\
-he = & 27°33'.7 \\
\hline
\Delta h = & +3'.3
\end{array}$$

Determinarea punctului estimat al navei Ze_2 pentru momentul observației a doua

a – Grafic pe hartă. Se trasează drumul adevărat al navei $Da = 42°$ și distanța parcursă de navă $m = 79.4 - 41.0 = 38.4$ Mm în intervalul de timp dintre cele două observații, din punctul estimat Ze_1 pentru momentul primei observații și se obține punctul estimat Ze_2 ($\varphi e_2 = 43°33'.5$ N; $\lambda e_2 = 29°41'.5$ E) pentru momentul observației a doua.

b – Prin calcul: $Da = 42°$; $m = 38.4$ Mm.

Se intră în *tabla 24 (MT-53)* cu $Da = 42°$ și m 38.4 Mm și se obține: $\Delta\varphi = 28'.5$; $e = 25.70$ Mm.

Calculul lui φe_2 și φm

$$\begin{array}{r l}
\varphi e_1 = & +\ 43°05'.0 \\
+\Delta\varphi = & +\ 28.5 \\
\hline
\varphi e_2 = & +\ 43°33.5 \\
-\dfrac{\Delta\varphi}{2} = & 14.2 \\
\hline
\varphi m = & +\ 43°19'.3
\end{array}$$

Calculul lui $\Delta\lambda$: se intră în *tabla 25 (MT-53)* cu e și φm și se obține $\Delta\lambda = 35'.5$; sau se calculează din relația:

$\Delta\lambda = e \sec \varphi m = 25.70 \times 1.38 = 35'.5$

Calculul lui λe_2

$$\begin{array}{r l}
\lambda e_1 = & +\ 29°06'.0 \\
+\Delta\lambda = & +\ 35.5 \\
\lambda e_2 = & +\ 29°41'.5
\end{array}$$

Dreapta II – Soare

a – Calculul lui *P*

$$\begin{array}{r l}
A = & 11^h53^m46^s \\
+(Tm - A) = & -10\ \ 24 \\
\hline
Tm = & 11^h43^m22^s \text{ din } 9.11
\end{array}$$

9.11. pt. $Tm = 11^h$ .... $Ta = 349°02'.3$ .... $\delta = S\ 16°53'.3$ ... ($d = 0'.7$)

Var. pt. $\Delta Tm = 43^m22^s$ .... $\Delta Ta = 10\ 50.5$ .... $\Delta\delta =$ 0'.5

9.11 pt. $Tm = 11^h43^m22^s$ .... $Ta = 359\ 52.8$ .... $\delta = S\ 16°53'.8$

$$\begin{array}{r l}
+\lambda e = & +\ 29°\ 41'.5 \\
\hline
ta = & 389°34'.3 \\
P_W = & 29°\ 34'.3
\end{array}$$

b – Calculul *he* și *Az*

$$\sin he = \sin \varphi e \sin \delta + \cos \varphi e \cos \delta \cos P = (-a) + (-b)$$

$\log \sin \varphi e = 9.83827$	$\log \cos \varphi e = 9.86014$	$\log \cos \delta = 9.98084$
$\log \sin \delta = 9.46336$	$\log \cos \delta = 9.98084$	$\log \sin P = 9.69330$
$\log a = 9.30163$	$\log \cos P = 9.93939$	$\log \sec he = 0.03844$
	$\log b = 9.78037$	$\log \sin Z = 9.71258$
		$Z = SW31°.1$
		$Az = 211°.1$

$a = -0.20038$
$+b = +0.60307$
$\sin he = +0.40279$
$\log \sin he = 9.60508$
$he = 23°45'.2$

c – Calculul lui *he* și Δh

$hi = 28°35'.9$
$+\varepsilon = -\ 1.2$
$hi = 23\ 34.7$
$+Cor = +8.5$
$ha = 23\ 43.2$
$-he = 23\ 45.2$
$\Delta h = -\ 2'.0$

d – Se trasează dreptele de înălțime prin punctul estimat Ze_2 pentru momentul observației a doua (fig. 23-18) și la intersecția lor se obține punctul observat – estimat *Z* de coordonate: φ = 43°32'.3 N; λ = 29°49'.5.

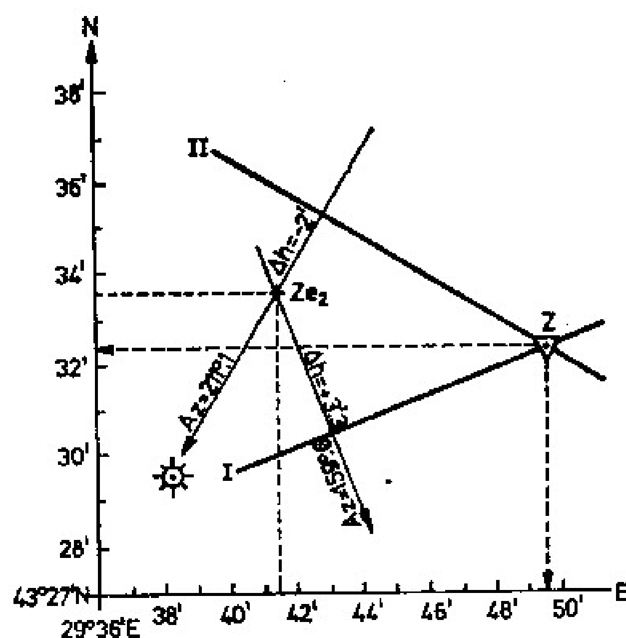


Fig. 23-18

Scara hărții fiind mică, s-a procedat la determinarea coordonatelor lui Ze_2 prin calcul, iar pentru trasarea dreptelor de înălțime, s-a folosit scara grafică a latitudinii și longitudinii, construită pentru latitudinea lui Ze_2(φe_2 = 43°33'.5 N ≅ 43°.6).

§8 Utilizarea unei singure drepte de înălțime

1 – Punctul navei poate fi obținut prin intersecția unei drepte de înălțime cu o altă linie de poziție oarecare. Cele mai frecvente procedee sunt;

– o dreaptă de înălțime cu un relevment radio la un radiofar sau un relevment vizual la un reper de la coastă. Intersecția lor este favorabilă când astrul este văzut într-o direcție apropiată de cea a relevmentului, în sensul acestuia sau în sens opus (intersecția este aproape de 90°);

– o dreaptă de înălțime cu o linie batimetrică. În acest caz, intersecția este favorabilă (aproape de 90°), când astrul observat se află într-o direcție apropiată de orientarea liniilor batimetrice; intersecția într-un unghi aproape de 90° a celor două linii de poziție face totodată ca variația adâncimii apei pe direcția dreptei de înălțime să fie evidentă.

2 – Când se dispune de o singură dreaptă de înălțime, care are o anumită orientare față de drumul navei, de coastă sau față de alte obstacole de navigație din zonă, ea poate da indicații prețioase pentru conducerea navei.

A – O dreaptă de înălțime paralelă cu drumul navei (astrul observat la travers) arată deplasarea laterală, deci deriva avută.

B – O dreptă de înălțime normală la drumul navei (astrul în prova sau pupa) permite determinarea ditanței parcurse pe drumul urmat; punctul cel mai probabil al navei este intersecția drumului cu dreapta de înîltime.

C – O dreaptă de înălțime paralelă cu coasta sau la un obstacol de navigație dă posibilitatea determinării distanței la coastă sau la obstacol.

D – Aterizare la coastă cu ajutorul unei singure drepte de înălțime. O dreaptă de înălțime orientată aproape de normală la coastă dă posibilitatea aterizării pe un anumit punct. Astfel, considerăm că trebui să se execute aterizarea pe geamandura *G*, de la intrarea într-un port (fig. 23-19); nava se află la larg, estimat în *Ze*, fără un control precis al poziției. Se observă un astru într-o direcție apropiată de paralela la coastă, dreapta de înălțime fiind *LL'*, cu punctul determinativ *Z'*; aterizarea pe *G* se execută astfel:

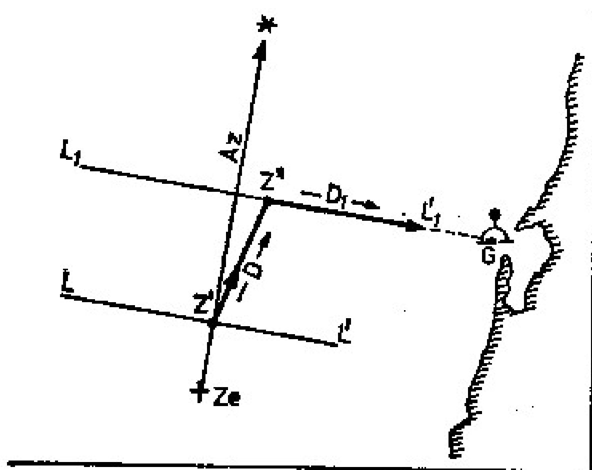


Fig. 23-19

– se duce paralele $L_1L'_1$ la dreapta de înălțime prin punctul *G*;

– punctul navei se consideră în punctul determinativ *Z'* al dreptei de înălțime, din care se ia drumul *D*, în scopul plasării pe paralela $L_1L'_1$; drumul *D*, în raport cu

coasta şi obstacolele de navigaţie din zonă, se alege astfel ca să elimine pericolul punerii pe uscat, dat fiind incertitudinea poziţiei navei faţă de acestea;

– când nava ajunge estimat în Z'', ia drumul $D_1 = Az + 90°$, de-a lungul paralelei L_1L_1', care asigură aterizarea pe punctul G.

4 – *Poziţia cea mai probabilă a navei pe o dreaptă de înălţime.* În navigaţia la larg, o dreaptă de înălţime cu o orientare oarecare faţă de drumul navei poate fi utilă în conducerea navei, dacă se ţine seama în mod judicios de erorile care influenţează ţinerea estimei.

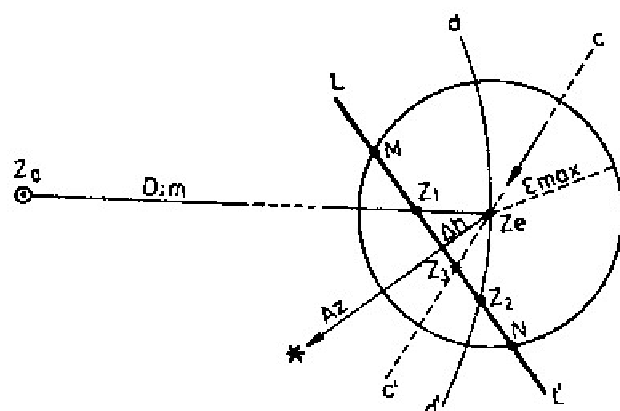


Fig. 23-20

Considerăm că s-a determinat punctul observat al navei în Z_0, din care s-a mers în drumul D, parcurgându-se distanţa m (fig. 23-20); în punctul estimat Ze se face o observaţie la un astru şi se obţine dreapta de înălţime LL'. Poziţia cea mai probabilă a navei pe această dreaptă de înălţime se poate stabili astfel:

– cu rază ε_{max}, în mile marine, egală cu eroarea maximă a estimei în raport cu punctul Z_0 şi cu centrul în Ze se trasează cercul de incertitudine a estimei. Punctul navei se află pe segmentul MN, determinat de intersecţiile dreptei de înălţime cu cercul de invertitudine al estimei;

– dacă drumul navei poate fi considerat ca sigur, apreciindu-se însă ca posibilă o eroare în determinarea distanţei parcurse, poziţia cea mai probabilă este Z_1, care rezultă din intersecţia dreptei de înălţime cu drumul navei;

– când distanţa parcursă de navă se determină cu precizie (lochurile au o funcţionare normală, etalonarea lor recentă şi precisă), dar se apreciază o eroare posibilă în drumul navei, poziţia cea mai probabilă este Z_2, la intersecţia dreptei de înălţime cu arcul de cerc dd', având centrul în Z_0 şi raza egală cu $m = Z_0Ze$;

– dacă atât drumul navei prin apă, cât şi distanţa parcursă m au fost determinate cu siguranţă, însă navigaţia a fost executată sub acţiunea unui curent sau vânt de direcţie cunoscută cc', poziţia cea mai probabilă a navei este Z_3, la intersecţia dreptei de înălţime cu direcţia curentului sau vântului, dusă prin Ze.

Pe baza unor asemenea raţionamente, ţinându-se seama de elementele ce condiţionează determinarea drumului deasupra fundului şi a distanţei parcurse, de condiţiile de navigaţie şi particularităţile navei, se poate restrânge segmentul MN pe care nava s-a aflat în momentul observaţiei.

§9 Rezolvarea problemei punctului astronomic cu calculatorul electronic „SEAMATE-4"

Calculatorul numeric „SEAMATE-4"*, instalat la bordul tancurilor petroliere de tipul „DACIA", este prevăzut cu o bibliotecă de programe pentru următoarele funcţiuni:

– calcule de navigaţie (determinarea punctului cu observaţii astronomice, rezolvarea problemei directe şi inverse a estimei, calculul drumului ortodromic);

– calcule de rezistenţă longitudinală şi asietă a navei, pentru diferite stări de încărcare.

De asemenea, el execută calcule cu cele patru operaţii aritmetice, cu afişarea numerică a rezultatelor la consolă şi dispune de posibilitatea de programare într-o variantă a limbajului FORTRAN, limitată la necesităţile activităţilor de la bord.

Suportul material al programelor calculatorului „SEAMATE-4" este banda perforată; cu banda program de navigaţie astronomică *(„Celo-navigation program tape")* se rezolvă problema punctului navei cu două până la patru observaţii la aştri. Datele iniţiale de calcul folosite sunt: datele de observaţie la aştri (înălţimile şi timpul mediu la Greenwich) şi coordonatele lor astronomice scoase din efemeridă, drumul şi viteza navei, precum şi datele privind condiţiile fizice pe timpul observaţiilor (necesare la corectarea înălţimilor observate); după rezolvarea programului (durata aproximativ 40 de secunde), imprimanta tipăreşte următoarele rezultate: azimuturile estimate („AZIM", *azimuth)* şi diferenţele $\Delta h = ha - he$ („INTC", *intercept*) pentru fiecare observaţie în parte; latitudinea („LAT", *latitude*) şi longitudinea („LON", *longitude*) punctului observat. Toate aceste rezultate sunt date la precizie de 0.01 minut de arc.

1 Schema programului pentru calculul punctului astronomic

După introducerea datelor iniţiale în calculator (aşa cum se arată mai jos) şi acţionarea cheii de începere a calculului, COMP *(computation starting)*, la consolă se declanşează rularea programului, a cărei schemă este redată în tabelul 23-1.

În calculator se introduc datele de observaţie corectate, astfel: înălţimea observată $ho = hi + \varepsilon$; timpul mediu la Greenwich pentru momentul observaţiei $Tm = A + (Tm - A)$; drumul adevărat $Da = Dg + \Delta g$ sau $Da = Dc + \Delta c$.

Semnul plus se ignorează; semnul minus se introduce anticipând mărimile negative prin acţionarea cheii SW (South, West), pentru următoarele date:

– latitudini sau declinaţii sudice;

– longitudini vestice;

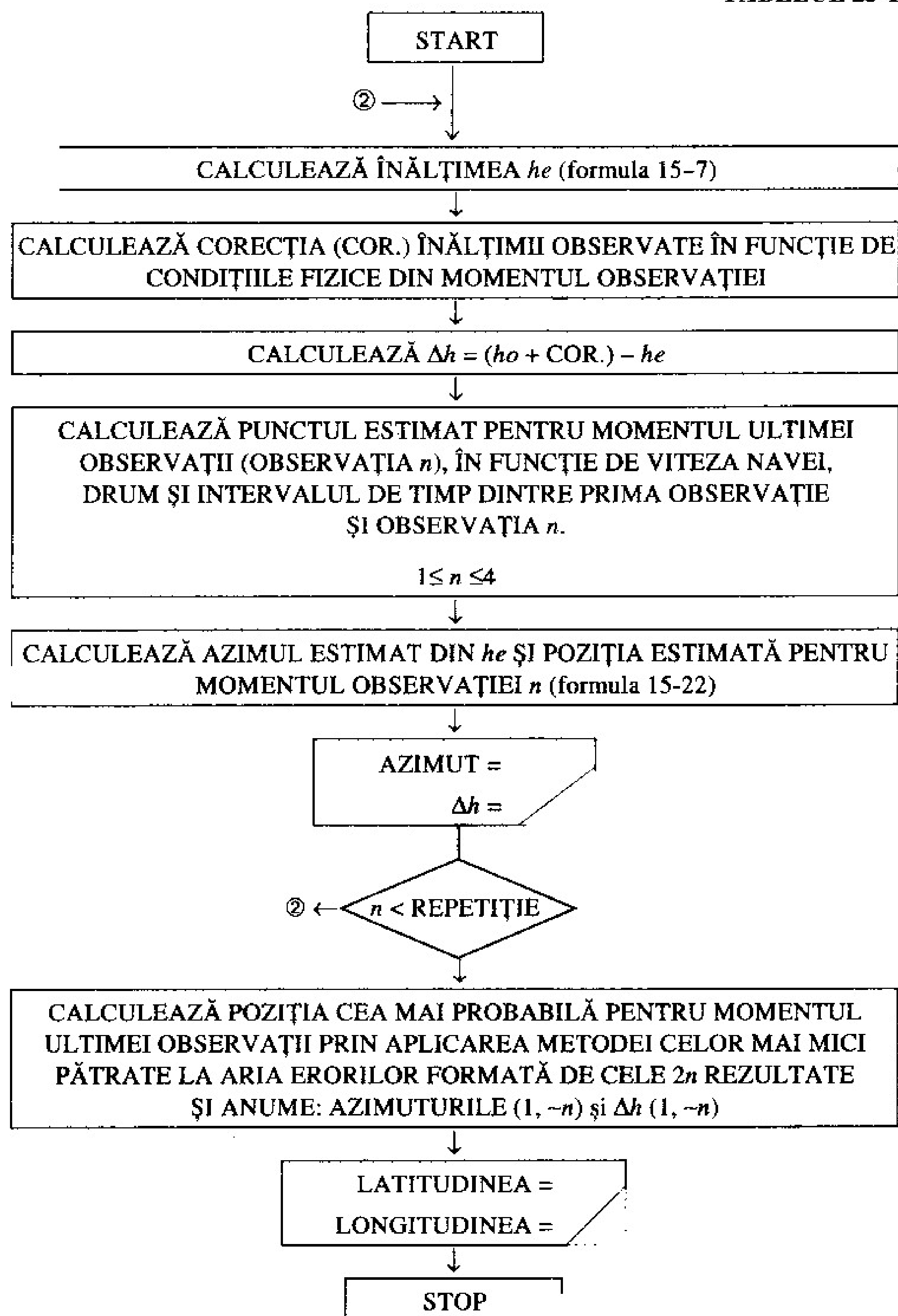
– temperaturi negative;

– momentul observaţiei se extinde în ziua următoare, faţă de data observaţiei (observaţiilor) anterioare.

---

* „SEAMATE-4" = „ofiţer maritim-4", denumire ce sugerează rolul calculatorului la bord, de îndeplinire a anumitor atribuţii ale ofiţerului maritim.

TABELUL 23-1



START
②
CALCULEAZĂ ÎNĂLŢIMEA *he* (formula 15-7)
CALCULEAZĂ CORECŢIA (COR.) ÎNĂLŢIMII OBSERVATE ÎN FUNCŢIE DE CONDIŢIILE FIZICE DIN MOMENTUL OBSERVAŢIEI
CALCULEAZĂ $\Delta h = (ho + COR.) - he$
CALCULEAZĂ PUNCTUL ESTIMAT PENTRU MOMENTUL ULTIMEI OBSERVAŢII (OBSERVAŢIA *n*), ÎN FUNCŢIE DE VITEZA NAVEI, DRUM ŞI INTERVALUL DE TIMP DINTRE PRIMA OBSERVAŢIE ŞI OBSERVAŢIA *n*.
$1 \leq n \leq 4$
CALCULEAZĂ AZIMUL ESTIMAT DIN *he* ŞI POZIŢIA ESTIMATĂ PENTRU MOMENTUL OBSERVAŢIEI *n* (formula 15-22)
AZIMUT =
Δh =
② ← *n* < REPETIŢIE
CALCULEAZĂ POZIŢIA CEA MAI PROBABILĂ PENTRU MOMENTUL ULTIMEI OBSERVAŢII PRIN APLICAREA METODEI CELOR MAI MICI PĂTRATE LA ARIA ERORILOR FORMATĂ DE CELE 2*n* REZULTATE ŞI ANUME: AZIMUTURILE (1, ~*n*) şi Δh (1, ~*n*)
LATITUDINEA =
LONGITUDINEA =
STOP

În cazul în care se dispune de o singură observaţie la un astru (deci DATA NO 11 = 1, vezi punctul 2 de mai jos), schema se limitează la calculul şi scrierea elementelor dreptrei de înălţime: azimut estimat („AZIM“) şi Δh („INTC“).

2 Datele iniţiale ale calculului şi procedura de urmat

Formatul datelor iniţiale de intrare în calculator este cel indicat în *fişa datelor iniţiale pentru navigaţia astronomică („Input data sheet for celo-navigation“)*, tabelul 23-2.

Această fişă conţine următoarele categorii de date iniţiale:

–DATA NO 1–11, datele punctului estimat pentru momentul primei observaţii, condiţiile fizice pe timpul observaţiilor, drumul şi viteza navei;

– DATA NO 21–28, datele primei observaţii („Ist OBSERVATION“);

– DATA NO 31–38, datele observaţiei a doua („2nd OBSERVATION“);

– DATA NO 41–48, datele observaţiei a treia (3rd OBSERVATION“);

– DATA NO 51–58, datele observaţiei a patra („4th OBSERVATION“).

Fişa indică formatul de scriere pentru fiecare dată în parte; astfel, de exemplu, în cazul unei longitudini estimate 8°6′ E, prin consolă se transmite mesajul: DATA DO 3 DATA 00806. Respectarea formatului de scriere (care rezervă zona de memorie necesară) este esenţială pentru obţinerea corectă a rezultatelor.

Semnul de virgulă zecimală (redat în fişe prin punct) se ignorează în toate operaţiunile efectuate, el fiind cuprins implicit în descriptorul de zonă rezervat la scrierea iniţială a programelor din bibliotecă.

Pentru controlul exactităţii datelor intrate, calculatorul oferă posibilitatea unei duble citiri:

– pe *banda imprimată* (tabelul 23-3), pe care datele intrate sunt tipărite de imprimantă în momentul acţionării comenzii IN (intră), de pe consolă;

– pe *indicatorul numeric*, care afişează data intrată după ce se acţionează pe DATA CALL; aceasta constituie o confirmare a înmagazinării în memoria calculatorului a datei respective.

În cazul în care nu se respectă regulile de introducere a datelor, calculatorul semnalează eroarea tipărind ERROR pe banda imprimată.

Pentru explicarea datelor iniţiale de calcul şi procedura de urmat în introducerea lor în calculator, ne folosim de exemplu 4, de mai sus, de determinare a punctului navei cu două observaţii succesive la Soare; fişa datelor iniţiale este redată de tabelul 23-2, iar banda cu datele iniţiale şi rezultatele, tipărită de imprimantă, de tabelul 23-3.

Aşa după cum se vede din cele două tabele, datele iniţiale de intrare în calculator sunt următoarele:

– DATA NO 1: *timpul mediu la Greenwich pentru momentul primei observaţii (initial time GMT):* $TM = A + (TM - A) = 8^h41^m44^s + (-10^m24^s) = 8^h31^m20^s$, deci DATA 0831200;

– DATA NO 2: *latitudinea estimată în momentul primei observaţii (latitudine at initial time),* nord sau sud, deci DATA 4305 N;

– DATA NO 3: *longitudinea estimată în momentul primei observaţii (longitude at initial time),* est sau vest, deci DATA 02906 E;

SEAMATE - 4

HER NAME		VOY. NO.	

PROGRAM NO.	UNNECESSARY

DATE: 9.11.1973

NAME

INPUT DATA SHEET FOR CELO-NAVIGATION

No.	Item	Value	No.	Item	Value	No.	Item	Value
1	INITIAL TIME (GMT)	H 08 M 31 20 S 00		INDEX OF WEATHER CONDITION (0: STANDARD CONDITION 1: INPUT THE DATA 6–8)	0	9	SHI'S SPEED	12.0 KT 2
2	LATITUDE AT INITIAL TIME	+ – 43° 05'	6	ATMOSPHERIC PRESSURE	mm Hg	10	COURSE	042° 0
3	LONDITUDE AT INITIAL TIME	+ – 42° 90' 6	7	ATMOSPHERIC TEMPERATURE	+ – °C	11	OBSERVING TIMES	2
4	HEIGHT OF EYE	1 M 0	8	WATER TEMPERATURE	+ – °C			

O NORTH EAST → +

O SOUTH WEST → –

O OBSERVING TIME IS TREATED AS MINUS DATA WHEN OBSERVATION IS MADE EXTENDING OVER NEXT DY

ITEM / TIME	No.	1ST OBSERVATION	No.	2ND OBSERVATION	No.	3RD OBSERVATION	No.	4TH OBSERVATION
OBSERVING TIME	21	+ – H 08 M 31 20 S 0	31	+ – 1 H 14 M 32 2 S 0	41	+ – H M S	51	+ – H M S
CELESTIAL BODY	22	1: ⊙ 2: 3 4 P S 1	32	1	42		52	
OBSERVED ALTITUDE	23	27° 28' 7	33	23° 34' 7	43	° '	53	° '
SEMI DIAMETER	24	16' 2	34	16' 2	44	'	54	'
INDEX O RIMB	25	1: UPPER RIMB 2: LOWER RIMB 2	35	2	45		55	
PARALLAX	26	'	36	'	46	'	56	'
DECLINATION	27	+ – – 16' 51' 5	37	+ – – 16' 53' 8	47	+ – ° '	57	+ – ° '
E VALUE	28	1 H 21 M 61 S 0	38	1 H 21 M 60 S 9	48	H M S	58	H M S
AZIMUTH	AZIM	15' 92' 37		21° 10' 31		° '		° '
INTERCEPT	INTC	3 NM () 3		– 2 NM () 0		NM ()		NM ()
THE MOST PROBABLE POSITION	LAT	N 4° 33' 23' 3	LON	E 29° 49' 5	REMARKS CONDI-II NORMALE DE OBSERVAȚIE			

Tabelul 23-3

DATA	NO = 1	DATA = 8	31	2Ø.ØØ	
DATA	NO = 2	DATA =	43	5.ØØ	N
DATA	NO = 3	DATA =	29	6.ØØ	E
DATA	NO = 4	DATA =		1Ø.ØØ	
DATA	NO = 5	DATA =		Ø.ØØ	
DATA	NO = 9	DATA =		12.ØØ	
DATA	NO = 1Ø	DATA =		42.ØØ	
DATA	NO = 11	DATA =		2.ØØ	
DATA	NO = 21	DATA = 8	31	2Ø.ØØ	
DATA	NO = 22	DATA =		1.ØØ	
DATA	NO = 23	DATA =	27	28.1Ø	
DATA	NO = 24	DATA =		16.2Ø	
DATA	NO = 25	DATA =		2.ØØ	
DATA	NO = 27	DATA =	16	51.5Ø	S
DATA	NO = 28	DATA = 12	16	1Ø.ØØ	
DATA	NO = 31	DATA = 11	43	22.ØØ	
DATA	NO = 32	DATA =		1.ØØ	
DATA	NO = 33	DATA =	23	34.7Ø	
DATA	NO = 34	DATA =		16.2Ø	
DATA	NO = 35	DATA =		2.ØØ	
DATA	NO = 37	DATA =	16	53.8Ø	S
DATA	NO = 38	DATA = 12	16	9.ØØ	

AZIM	=	159	23.74	
INTC	=		3.26	
AZIM	=	211	3.13	
INTC	=		2.Ø3	
LAT	=	43	32.3Ø	N
LON	=	29	49.47	E

– DATA NO 4: *înălţimea ochiului observatorului*, în metri *(height of eye)*, deci DATA 10;

– DATA NO 5: *starea vremii în timpul observaţiilor (index of weather condition)*, indicată prin două date; 0: *condiţii normale („standard condition")*, starea mării 0–5 şi 1: starea mării 6 ~ 8 (*input the data* 6 ~ 8). În exemplul dat, în timpul observaţiilor-condiţii normale, deci DATA 0;

– DATA NO 6: *presiunea atmosferică (atmospheric pressure)*, în mm coloană de mercur;

– DATA NO 7: *temperatura atmosferică (atmospheric temperature)*, în grade Celsius;

– DATA NO 8: *temperatura apei (Water temperature)*, în grade Celsius;

– DATA NO 9: *viteza navei (Ship's speed)*, în noduri, DATA 1200;

– DATA NO 10: *drumul navei (course)*, DATA 0420;

– DATA NO 11: *numărul observaţiilor (observing times)*, de la 1–4; în exemplul rezolvat, DATA 2, fiind două observaţii.

Datele primei observații (Ist observation):

– DATA NO 21: *timpul mediu la Greenwich (observing time): Tm = A +* $(Tm - A) = 8^h41^m44^s + (-10^m24^s) = 8^h31^m20^s$, deci DATA 0831200;

– DATA NO 22: *astrul (celestial body),* care se indică prin DATA 1 – pentru Soare, 2 – pentru Lună, 3 – pentru planete și 4 – pentru stele. În exemplul rezolvat, DATA 1, observație la Soare;

– DATA 23: *înălțimea observată (observed altitude),* $ho = hi + \varepsilon = 27°29'.3 + (-1'.2) = 27°28'.1$, deci DATA 27281;

– DATA 24: *semidiametrul astrului (semi diameter),* $d = 16'.2$, scos din efemeridă pentru ziua observației, deci DATA 162; se aplică numai în cazul observațiilor la Soare și Lună;

– DATA NO 25: *bordul observației la astru (index of rimb),* indicat prin DATA 1 pentru *bordul superior (upper rimb)* și DATA 2, *bordul inferior (lower rimb),* în cazul observațiilor la Soare și Lună. În exemplul dat, DATA 2, observația executată la bordul inferior al Soarelui;

– DATA 26: *paralaxa (parallax),* în cazul observațiilor la Lună și uneori la planete;

– DATA 27: *declinația astrului (declination),* nordică sau sudică, scoasă din efemeridă, DATA 16515 S;

– DATA 28: *valoarea E* (E *value*), care reprezintă diferența dintre unghiul orar la Greenwich *T* al astrului, scos din efemeridă pentru momentul observației, și timpul mediu la Greenwich *Tm,* deci $E = T - Tm$, în unități de timp. În exemplul dat:

$Ta = 20^h47^m30^s$ ... $Ta = 311°52'.4$ (scos din efemeridă funcție de *Tm*)
$-Tm = \ \ 8\ 31\ 20$

$E = 12^h16^m10^s$

În cazul Soarelui, *E* reprezintă *ecuația timpului („SUN-Eqn. of Time"),* putând fi scoasă direct din efemerida *BNA* (vezi Anexa II).

În exemplul rezolvat deci, DATA 121610.

În acelaşi mod se procedează în continuare pentru introducerea datelor observației a doua, până la observația *n*.

După intrarea datelor inițiale, în modul arătat, verificând în paralel exactitatea operației prin citirea *benzii imprimate* și a *indicatorului numeric,* se acționează cheia COMP; după parcurgerea programului pentru cele două observații, calculatorul imprimă rezultatele (tabelul 23–3):

– observația I la Soare: *Az(„AZIM")* = 159°23'.74
Δh(„INTC") = +3'.26

– observația II la Soare: *Az(„AZIM")* = 211°03'.13
Δh(„INTC") = +2'.03

– coordonatele punctului observat – estimat:
φ(„LAT") = 43°32'.30 N
λ(„LON") = 29°49'.47 E

24 PROBLEME AJUTĂTOARE DE NAVIGAȚIE ASTRONOMICĂ

§1 Calculul orei răsăritului și apusului vizibil al Soarelui, a începutului și sfârșitului crepusculului civil și nautic

Prin *răsărit sau apus vizibil al Soarelui* înțelegem momentul când bordul superior al Soarelui trece prin orizontul vizibil al observatorului. Astfel, în figura 24–1, când bordul superior al Soarelui se vede pe linia *OHv* a orizontului vizibil, la răsărit, în poziția *S*, el se află în realitate în S_1, pe o direcție OS_1 diferită de direcția *OS* cu un unghi egal cu refracția astronomică ρ. Rezultă că, în momentul răsăritului vizibil al Soarelui, înălțimea $h = \sphericalangle HOS_1$ a astrului față de orizontul adevărat al observatorului este dată de relația:

$$h = \text{Depr.} + \rho + d.$$

Considerând înălțimea ochiului observatorului de 6.1 m și astrul la orizont, în condiții normale de refracție, depresiunea orizontului ia valoarea de –4′.4, iar

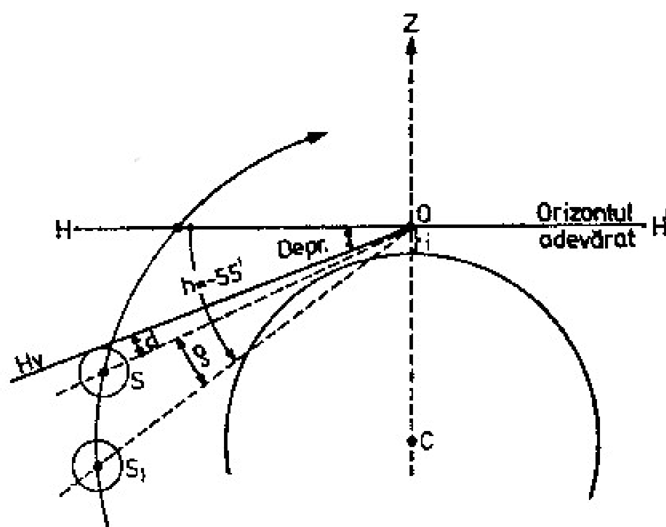


Fig. 24-1

refracția astronomică –34′.5; dând semidiametrului aparent al Soarelui mărimea medie anuală $d = 16'$, se obține înălțimea Soarelui față de orizontul adevărat în momentul răsăritului sau apusului vizibil:

$$h = (4'.4) + (-34'.5) + (-16') = -54'.9 \approx -55'.$$

Prin urmare, formula înălțimii (15-7) pentru momentul răsăritului sau apusului vizibil al Soarelui ia forma:

$$-\sin 55' = \sin\varphi \sin\delta + \cos\varphi \cos\delta \cos P$$

de unde:

$$\cos P = -(\sin 55' \sec\varphi \sec\delta + \operatorname{tg}\varphi \operatorname{tg}\delta) \qquad (24\text{-}1)$$

formulă care exprimă unghiul la pol în momentul răsăritului sau apusului vizibil al Soarelui; el este estic la răsăritul Soarelui și vestic la apus.

Ora bordului, pentru un anumit fus orar λf, se poate calcula astfel:

– se calculează unghiul la pol pentru momentul răsăritului (apusului) vizibil din formula (24-1), în funcție de latitudinea locului și declinația Soarelui pentru ziua respectivă (scoasă din efemeridă cu valoarea medie a zilei). Unghiul la pol se transformă în timpul adevărat al locului *ta* utilizând relațiile (15-4);

– timpul adevărat al locului *ta* se transformă în timp mediu al locului *tm* prin *procedeul invers* (vezi cap. 18, § 4, pct. 1) sau folosind ecuația timpului (relația 18-7);

– timpul mediu al locului *tm* se transformă în ora bordului (relația 18-19): $O = tf = tm + (\lambda f - \lambda)$.

În mod similar se poate calcula ora începutului crepusculului civil sau nautic de dimineață și a sfârșitului crepusculului civil sau nautic de seară (cap. 17, § 3, pct. 4), știind că:

$$\cos P = -(\sin 6° \sec\varphi \sec\delta + \operatorname{tg}\varphi \operatorname{tg}\delta), \qquad (24\text{-}2)$$

în cazul crepusculului civil, care începe (se termină) când înălțimea Soarelui $h = -6°$;

$$\cos P = -(\sin 12° \sec\varphi \sec\delta + \operatorname{tg}\varphi \operatorname{tg}\delta), \qquad (24\text{-}3)$$

în cazul crepuscului nautic, care începe (se termină) când $h = -12°$.

Crepusculul astronomic nu prezintă interes în navigație.

În practica navigației, rezolvarea acestor probleme este mult facilitată de utilizarea efemeridei nautice.

Rezolvarea cu efemerida

Efemerida BNA (vezi Anexa II) conține timpul mediu la Greenwich, la latitudini („*Lat*".) cuprinse între 0° – 72° N și 0° – 60° S, pentru:

– răsăritul (*Sunrise*) și apusul (*Sunset*) vizibil al Soarelui;

– începutul și sfârșitul crepusculului nautic (*Twilight-Naut.*);

– începutul și sfârșitul crepusculului civil (*Twilight Civil*).

Dat fiind mișcarea aparentă a Soarelui pe ecliptică de numai aproximativ 4^m pe zi, timpul mediu la Greenwich *Tm* conținut în efemeridă poate fi considerat egal cu timpul mediu al locului *tm*. Orele răsăritului și apusului vizibil al Soarelui, ale începutului și sfârșitului crepusculului, date în efemeridă, sunt aceleași pentru cele trei zile consecutive cuprinse în aceeași tablă zilnică.

Timpul mediu al locului se transformă în ora bordului pentru un anumit fus orar λf, aplicând relația (18-19):

$$O = tf = tm + (\lambda f - \lambda).$$

Exemplul 1. Să se calculeze ora bordului (ora fusului 2 vesitic) pentru momentul apusului Soarelui și a sfârșitului crepusculului nautic de seară în ziua de 11 noiembrie 1973, în punctul $\varphi = 51°00'$ N; $\lambda = 29°00'$ W.

a – Ora apusului Soarelui

11.11.73 pt. $\varphi = 51°$N........$Tm \approx tm = 16^h20^m$

$+(\lambda f - \lambda) = -\ 4$

$O = tf = 16^h16^m$

$\lambda f = -30°$

$-\lambda = -29$

$\lambda f - \lambda = 1° = -4^m$

b – Ora sfârșitului crepusculului nautic de seară

11.11 pt. $\varphi = 51°$N............. $tm = 17^h35.5^m$

$+(\lambda f - \lambda) = -\ 4.0$

$O = tf = 17^h31.5^m$

§2 Calculul orei răsăritului și apusului vizibil al Lunii

Efemerida BNA conține timpul mediu la Greenwich pentru momentul răsăritului (*Moonrise*) și apusului (*Moonset*) vizibil al Lunii, în fiecare zi a anului, la aceleași latitudini ca și pentru Soare (vezi Anexa II). Calculul se efectuează astfel:

– se scoate timpul mediu la Greenwich *Tm* pentru momentul răsăritului sau apusului Lunii în funcție de dată și latitudinea locului. Totodată, se face diferența Δ dintre *Tm* pentru data anterioară și cea respectivă, dacă longitudinea locului este estică sau dintre *Tm* pentru data următoare și cea respectivă, dacă longitudinea este vestică; semnul algebric al acestei diferențe este cel care rezultă din operație;

– se calculează corecția pentru longitudinea locului, după relația:

$$\text{cor. } \lambda = \frac{\lambda(\text{ore}) \times \Delta}{24^h},$$

semnul corecției fiind același cu al diferenței Δ. Această corecție exprimă mișcarea aparentă proprie a Lunii pe orbita sa în intervalul de timp egal cu longitudinea locului;

– se adună timpul mediu la Greenwich *Tm* pentru momentul răsăritului (apusului) Lunii cu corecția pentru λ și se obține timpul mediu al locului *tm*;

– timpul mediu al locului se transformă în ora bordului (timpul fusului): $O = tf = tm + (\lambda f - \lambda)$.

Exemplul 2. Să se calculeze ora răsăritului Lunii în ziua de 10 noiembrie 1973 în punctul $\varphi = 35°00'$ S; $\lambda = 48°00'$ E.

Rezolvare:

10.11 pentru $\varphi = 35°$S ....$Tm = 18^h54^m$

$+ \text{Cor.} - \lambda = -\ 10$

$tm = 18\ 44$

$+(\lambda f - \lambda) = -\ 12$

$O = tf = 18^h32^m$

$\lambda f = +\ 45°$

$-\lambda = +\ 48$

$(\lambda f - \lambda) = -\ 3° = -\ 12^m$

Calculul lui Δ

9.11 pentru $\varphi = 35°S$.......................... $Tm = 17^h43^m$

10.11 pentru $\varphi = 35°S$ .... $Tm = 18\ 54$

$$\Delta = 1^h11^m - 1^h.2$$

$$\text{Cor. } \lambda = \frac{3^h.2 \times (-1^h.2)}{24^h} = -0^h.16 \approx -10^m$$

§3 Calculul orei răsăritului şi apusului adevărat al stelelor şi planetelor

Trecerea stelelor şi planetelor prin orizontul vizibil nu este observabilă datorită luminozităţii relativ reduse, precum şi din cauza atmosferei dense în straturile inferioáre. La răsărit, ele încep să se observe după ce ajung la o înălţime oarecare deasupra orizontului vizibil; de asemenea, la apus, ele dispar din vedere la o anumită înălţime.

De aceea, în practica navigaţiei este suficient a se calcula ora bordului pentru momentul răsăritului sau apusului adevărat al stelelor şi planetelor, adică cel al trecerii lor prin orizontul adevărat al observatorului. Considerând deci $h = 0°$, formula înălţimii (15-7) ia forma:

$$\sin\varphi \sin\delta + \cos\varphi \cos\delta \cos P = 0$$

de unde

$$\cos P = -\operatorname{tg}\varphi \operatorname{tg}\delta \qquad (24\text{-}4)$$

care exprimă valoarea unghiului la pol, estic – la răsărit şi vestic – la apus, pentru momentul trecerii unui astru prin orizontul adevărat al observatorului.

Unghiul la pol se transformă în unghi orar (relaţiile 15-4) şi apoi, prin procedeul invers, în timp mediu.

Exemplul 3. Să se calculeze ora bordului (ora fusului 2 estic) pentru momentul răsăritului stelei *Sirus* în ziua de 10 noiembrie 1973 în punctul $\varphi = 44°10'$ N; $\lambda = 31°10'$ E.

Rezolvare:

a – Coordonatele stelei Sirius în noiembrie 1973: δ = S 16°40'.6; τ = 258°59'.7.

b – Calculul lui P

$\cos P = -\operatorname{tg}\varphi \operatorname{tg}\delta$ ... $P < 90°$ deoarece $\cos P$ este pozitiv

log tg φ = 9.98787

log tg δ = 9.47668

log cos = 9.46405

$PE = 73°05'$

$t = 360° - P_E = 286°55'$

c – Calculul orei bordului

$t = 286°55'$
$-\lambda = +31\ 10$
$T = 255\ 45$
$+\ 360$
$T = 615\ 45$
$-\tau = 259\ 00$
$Ts = 356°45'$
$Ts_{.} = 349\ 50$ .... $Tm = 20^h$ ....din 10.11.73

$\Delta Ts = 6°55'$ .... $\Delta Tm = 28m$ ......din tabla „*Increments and corrections*"

$Tm = 20\ 28$

$+\lambda = +2 ... \lambda f = +30°$

$O = tf = 22^h 28^m$

Observaţie. Calculul nu necesită o precizie riguroasă; de aceea, valorile se rotunjesc la precizie de 1′ şi respectiv 1^m.

§4 Calculul azimutului pentru momentul răsăritului sau apusului vizibil al Soarelui

Unghiul la zenit semicircular Z pentru momentul răsăritului sau apusului vizibil al Soarelui se calculcază cu *tablele nautice*, cum este *tabla 20* (*MT*-53); expresia care stă la baza calculului lui *Z* cu această tablă este dedusă din formula declinaţiei (15-11):

$$\sin \delta = \sin \varphi \sin h + \cos \varphi \cos h \cos Z$$

ştiind că $h = -55'$ şi $\cos Z = 1 - \text{sint}^2 \dfrac{Z}{2}$, deci:

$$\cos Z = 1 - \sin^2 \frac{Z}{2} = \frac{\sin \delta - \sin h}{\cos \varphi \cos h}$$

sau:

$$\sin^2 \frac{Z}{2} = \frac{\sin \varphi \sin h + \cos \varphi \cos h - \delta}{2 \cos \varphi \cos h} = \frac{\cos(\varphi - h) - \sin \delta}{2 \cos \varphi \cos h}$$

de unde:

$$\sin^2 \frac{Z}{2} = \frac{\cos(\varphi + 55') - \sin \delta}{2 \cos \varphi \cos 55'} \qquad (24\text{-}5)$$

Tabla 20-a dă unghiul la zenit în cazul când φ şi δ sunt de acelaşi semn, iar *tabla 20-b*, dacă φ şi δ sunt de semne contrarii. Unghiul la zenit *Z* fiind semicircular, se contează de la nord, pe latitudini nordice şi de la sud, pe latitudini sudice; sensul este estic, la răsărit şi vestic, la apusul Soarelui.

Unghiul la zenit *Z* se transformă în azimut.

Azimutul Soarelui pentru momentul răsăritului sau apusului vizibil prezintă interes exclusiv pentru controlul corecţiei compasului în navigaţia la larg (vezi cap.

25, § 4). Procedeul este precis datorită faptului că măsurarea relevmentului se efectuează cu uşurinţă prin vizare directă; aplicarea lui nu este posibilă însă cu regularitate, deoarece deseori momentul răsăritului sau apusului vizibil al Soarelui nu este observabil, din cauza condiţiilor atmosferice.

Exemplul 4. În momentul apusului vizibil al Soarelui, latitudinea observatorului $\varphi = 34°30$ N şi declinaţia Soarelui δ = S 12°. Se cere azimutul.

Rezolvare:

*T.*20 – *b*, cu φ şi δ .... Z = N 104°W
$Az = 350° - 104° = 256°$

§5 Calculul azimutului Stelei Polare

Azimutul Polarei serveşte, de asemenea, la efectuarea controlului corecţiei compasului (vezi cap. 25, § 4); procedeul prezintă avantajul că azimutul se calculează cu multă uşurinţă. Deoarece măsurarea relevmentului la Polară nu se poate efectua cu precizie decât la înălţimi mici, nedepăşind practic 40°, aplicarea procedeului nu este posibilă deci decât la latitudini nordice limitate de această valoare.

Steaua Polară menţinându-se în apropierea polului nord ceresc (vezi cap. 22, § 4), unghiul la zenit ia valori mici şi se contează de la nord, spre est sau vest; astfel, în anul 1973, la latitudinea de 40°N unghiul la zenit a luat valori de la 0° la 1°.1.

Tablele cu unghiul la zenit al Polarei, date în efemeridele nautice, se deduc din formula (15-22):

$$\sin Z = \cos \delta \sin P \sec h$$

prin efectuarea substituirilor: $h \approx \varphi$, deoarece înălţimea Polarei este aproximativ egală cu latitudinea observatorului şi $\sin P = \pm \sin t = \pm \sin (ts + \tau)$, deci:

$$\sin Z = \cos \delta \sin (ts + \tau) \sec \varphi \qquad (24\text{-}6)$$

Tabla pentru calculul azimutului Polarei din efemerida BNA, *„Polaris (Pole Star) tables – for determining azimuth“*, este calculată pe baza formulei (24-6), folosind coordonatele medii anuale τ_0 şi δ_0 ale stelei:

$$\sin Z = \cos \delta_0 \sin (ts + \tau_0) \sec \varphi \qquad (24\text{-}6')$$

Tabla dă direct azimutul în funcţie de latitudinea observatorului (*„Lat.“*) şi timpul sideral al locului (*„L.H.A. Aries“*).

Exemplul 5. Se dau datele de observaţie din *exemplul 5,* de la capitolul 25 pentru calculul latitudinii cu Polara. Se cere a se calcula azimutul Polarei pentru momentul observaţiei.

Rezolvare:

a – Timpul sideral al locului $ts = 300°35'.2$

b – Se intră în tabla *„Polaris (Pole Star) tables – for determining azimuth“* cu φ = 34°N (*„Lat“*) şi ts = 300° (*„L.H.A. Aries“*) şi se citeşte Az = 1°.0

PARTEA A CINCEA
Controlul compasului la bord

Determinarea completă a deviaţiilor compasului magnetic.
Controlul corecţiei compasului

PART V
Determination of compass correction

Methods of swinging the ship. Determination of compass correction

25 DETERMINAREA COMPLETĂ A DEVIAȚIILOR COMPASULUI MAGNETIC. CONTROLUL CORECȚIEI COMPASULUI

§1 Considerații introductive. Pregătirea navei pentru determinarea deviațiilor

Așa cum s-a arătat la capitolele 3 și 4, elementul de bază în navigație este determinarea direcțiilor în orizontul adevărat, a drumului pentru deplasarea navei în siguranță spre punctul de destinație și a relevmentelor, folosite la rezolvarea problemelor de poziție în navigația costieră.

Utilizarea compasului magnetic pentru determinarea direcțiilor adevărate impune cunoașterea deviațiilor. Compensarea reduce deviațiile magnetice, însă nu le anulează. De aceea, după compensarea compasului magnetic se procedează la *determinarea deviațiilor rămase;* mărimile deviațiilor determinate se înscriu în *tabela de deviații* pentru drumurile compas de la 0° – 350°, din 10° în 10°, folosită în navigație pentru convertirea drumurilor și relevmentelor.

Deviațiile unui compas magnetic variază însă funcție de latitudinea magnetică, la încărcarea unor mărfuri cu proprietăți magnetice, după efectuarea unor reparații la corpul navei etc. (vezi cap. 3, § 4, pct. 4); de aceea, operațiunea de determinare completă a deviațiilor se impune de fiecare dată când observațiile de control arată că valorile acestora diferă cu mai mult de ± 0°.5 față de cele înscrise în *tabela de deviații.*

În principiu, deviațiile se determină prin efectuarea unei girații complete cu nava și folosirea unui procedeu care să permită stabilirea valorii deviațiilor în drumurile compas din 10° în 10°; aceste procedee pot fi grupate astfel: 1 – *Procedee de determinare a deviațiilor prin compararea relevmentelor,* care folosesc relația de calcul (3-27):

$$\delta = Rm - Rc.$$

Dintr-o poziție cunoscută, se determină relevmentul *Ra* la un obiect depărtat sau azimutul unui astru; Ra se convertește în Rm folosind relația (3-23): *Rm* – *Ra* – *d.* Pe timpul girației, din 10° în 10°, se măsoară relevmentul compas *Rc* la obiect sau astru; deviațiile se calculează din relația (3-27).

Din rândul acestor procedee de determinare a deviațiilor, în practica navigației se folosesc îndeosebi următoarele:

– cu un obiect depărtat de azimut cunoscut;
– cu un obiect depărtat de azimut necunoscut;
– cu observații la Soare.

2 – *Procedee de determinare a deviațiilor prin compararea drumurilor,* care aplică relația de calcul (3-27′):

$$\delta = Dm - Dc.$$

Pe timpul giraţiei, din 10° în 10°, se citeşte simultan *Dg*, drumul la girocompas cu *D'c*, drumul la un compas magnetic cu deviaţii cunoscute şi *Dc*, la compasul magnetic ale cărui deviaţii trebuie determinate.

Dg sau *D'c* se converteşte în drum adevărat *Da* folosind relaţiile:

$Da = Dg + \Delta g$ (relaţia 4-22);

$Da = D'c + \delta + d$ sau $Da = D'c + \Delta c$ (relaţia 3-21).

Da se converteşte apoi în drum magnetic *Dm prin relaţia* (3-19): $Dm = Da - d$; din *Dm* şi *Dc* se calculează apoi deviaţiile.

În practica navigaţiei, procedeele folosite pentru determinarea deviaţiilor prin compararea drumurilor sunt:

– cu girocompasul; acesta este procedeul care se aplică cel mai frecvent la bordul navelor maritime comerciale;

– cu un compas magnetic ale cărui deviaţii sunt cunoscute.

La bordul navelor maritime comerciale determinarea deviaţiilor se efectuează de către ofiţerii de punte, sub conducerea comandantului navei.

Determinarea deviaţiilor compasurilor magnetice de la bord se impune a fi executată în următoarele situaţii:

– după compensare, pentru determinarea deviaţiilor rămase;

– după lucrări de reparaţii la corp, pe doc sau în stare de plutire, de o amploare şi o tehnologie care să facă posibilă schimbarea magnetismului navei, deci a deviaţiilor;

– după încărcări sau descărcări (totale sau parţiale) de mărfuri cu proprietăţi magnetice (minereu de fier, laminate de oţel, fontă etc.);

– după operaţiuni de încărcare sau descărcare efectuate cu macarale electromagnetice;

– de fiecare dată când pe timpul navigaţiei se constată că deviaţiile au o diferenţă mai mare de 0°.5 faţă de valorile înscrise în *tabela de deviaţii* (ca urmare a variaţiei magnetismului navei în timp, schimbării apreciabile a latitudinii magnetice etc.).

Determinarea deviaţiilor trebuie să asigure o precizie în limitele de ± 0°.5.

Atât precizia indicaţiilor compasurilor magnetice, cât şi ale girocompasului, trebuie verificată însă pe timpul navigaţiei; operaţiunea este cunoscută sub denumirea de *controlul corecţiei compasului.*

Controlul corecţiei compasului se efectuează prin compararea relevmentelor, folosind relaţiile:

$\Delta c = Ra - Rc$ (relaţia 3-28), pentru compasul magnetic. Valoarea deviaţiei se stabileşte din relaţia (3-18): $\delta = \Delta c - d$; mărimea deviaţiei astfel determinată *pentru drumul în care se navigă* se compară cu valoarea deviaţiei din *tabelă.*

$\Delta g = Ra - Rg$ (relaţia 4-23), pentru compasul giroscopic.

Controlul corecţiei compasului se efectuează prin următoarele procedee:

– cu aliniamente;

– prin determinarea punctului navei cu observaţii costiere independente de compas;

– cu observaţii astronomice.

În afara acestor controale prin observaţii, *erorile grosiere ale girocompasului care apar accidental, ca urmare a unor defecţiei de funcţionare, de natură electrică sau mecanică, se verifică prin compararea continuă a indicaţiilor compasului giroscopic cu ale celui magnetic.*

Determinarea deviațiilor se execută în condiții hidrometeorologice favorabile; pentru navele de tonaj mediu, de exemplu, se recomandă ca intensitatea vântului să nu depășească forța 4, iar starea mării să nu depășească gradul 1.

Când deviațiile se determină printr-un procedeu care folosește compararea relevmentelor, este necesar ca vizibilitatea să fie bună.

Dacă determinarea deviațiilor se impune a fi executată în condiții de vizibilitate limitată sau pe timpul nopții, situație destul de frecventă în practica exploatării navelor maritime comerciale, se folosește procedeul prin compararea drumurilor după indicațiile girocompasului.

Obținerea unor rezultate bune în determinarea deviațiilor este condiționată de luarea a o serie de măsuri la bord, menite să asigure influențe normale ale magnetismului navei asupra compasurilor magnetice, în condiții de navigație:

– nava să fie încărcată astfel ca să prezinte o asietă normală și să nu aibă înclinări transversale;

– instalațiile mobile de la bord, ca bigi, macarale, gruie, scări de bord, capace spiraie compartiment mașini etc., să fie amarate în pozițiile lor de mare. Aceeași măsură se ia cu manevrele curente ale instalației de încărcare (balansine, sârme de siguranță, lanțuri etc.);

– se verifică starea compasurilor magnetice (fixarea magneților, a corectorilor etc.) și se îndepărtează obiectele aflate accidental lângă acestea, care ar putea să aibă o influență magnetică.

Mai există și alte procedee pentru determinarea deviațiilor compasurilor magnetice, decât cele menționate în acest capitol; cele tratate aici apreciez însă că sunt cele care s-au dovedit mai utile în rezolvarea acestei probleme în practica navigației.

§2 Procedee pentru determinarea deviațiilor prin compararea relevmentelor

1 Cu un obiect depărtat de azimut cunoscut

Procedeul se aplică în condiții de vizibilitate bună. Nava, pregătită pentru determinarea deviațiilor, se plasează la o distanță suficientă față de obiect (așa cum se arată mai jos) și se determină poziția cu precizie, printr-o metodă independentă de compas (cu unghiuri orizontale, prin sistemul Decca, cu distanțe), folosind o hartă la scară mare. Se scoate din hartă relevmentul adevărat *Ra* la obiect, față de poziția determinată, care se transformă în relevment magnetic *Rm* (relația 3-23):

$$Rm - Ra - d.$$

Se execută două girații, câte una în fiecare bord, cât mai regulate și cu viteză redusă; felul manevrei trebuie să aibă în vedere ca erorile de antrenare a rozei și histerezis magnetic (vezi cap. 3, § 5, pct. 4) să fie cât mai mici, egale și de semne contrarii, pentru cele două girații.

Pentru executarea observațiilor necesare, se asigură un observator la alidadă, pentru *măsurarea relevmentelor prova Rp* la obiect și câte doi la fiecare compas magnetic: unul pentru citirea drumurilor compas *Dc*, în momentul măsurării *Rp* și al doilea pentru înscrierea relevmentelor prova și a drumurilor compas în *foaia de observații. Foile de observații pentru girația tribord și babord* se pregătesc din timp, în forma prezentată mai jos.

Observațiile încep după ce nava a intrat într-o girație regulată (după circa 60° de la inițierea girației). Observațiile constau din măsurarea *Rp* la obiect, din 10° în 10°, și citirea simultană a *Dc*, la fiecare compas magnetic. Operația este condusă de către observatorul de la alidadă. El fixează alidada pe cercul azimutal, din 10° în 10°, funcție de sensul girației; anunță *Rp* care urmează („urmează... grade!"), „atenție!" – când obiectul se apropie de direcția relevmentului și „stop!", în momentul relevării.

La „stop!", primul observator de la compas citește *Dc*, la precizie de 0°.5; al doilea, înscrie *Rp* și *Dc* în foaia de observații. După terminarea celor două girații și completarea foilor de observații, se procedează la calcularea deviațiilor din relațiile:

$$Rc = Rp + Dc \text{ și } \delta = Rm - Rc.$$

Deviațiile astfel calculate se înscriu pentru fiecare girație în parte, ca ordonate, într-un grafic (fig. 25-1), în care pe axa absciselor sunt trecute drumurile compas, din 10° în 10°; se unesc vârfurile ordonatelor, eliminând cu atenție punctele determinate de eventualele observații eronate, astfel ca curba să aibă o variație cât mai apropiată de o armonică și se obțin în acest mod *curbele de deviații pentru girația la tribord și babord* (fig. 25-1).

Diferențele de ordonate (de deviații) ale celor două curbe sunt determinate de suma erorilor de antrenare a rozei și histerezis magnetic. Dacă cele două girații au fost executate cu aceeași viteză și același unghi de cârmă, erorile girației la tribord sunt egale și de semn contrar cu cele ale girației la babord. Trasând *curba medie a deviațiilor*, se elimină efectul celor două erori.

Se procedează apoi la întocmirea *tabelei de deviații* pentru drumurile compas din 10° în 10°, reprezentate de ordonatele *curbei medii* (fig. 25-1). Din valorile *Dc* și δ din *tabela de deviații* se calculează drumurile magnetice *Dm* corespunzătoare, prin relația (3-20): $Dm = DC + \delta$; *tabela de deviații*, astfel întocmită, pe care se notează compasul căruia aparține, data și procedeul folosit, se afișează în camera de navigație pentru efectuarea convertirilor de drumuri și relevmente.

Precizia deviațiilor astfel determinate este afectată de eroarea de paralaxă sub care se vede raza de girație a navei din obiectul observat.

Considerând că deviațiile se determină prin executarea a două girații opuse, se poate demonstra că eroarea maximă se menține în limitele de ±0°.5, dacă nava se depărtează de obiect la o distanță, în mile marine, egală cu cel puțin o dată diametrul girației, în hectometri (ex.: diametrul girației = 6 hm; nava trebuie să se depărteze de obiect la distanța de cel puțin 6 Mm).

De asemenea, eroarea devine minimă dacă relevmentele prova încep să se măsoare când obiectul se vede la travers (Td. sau Bd.); în același moment se recomandă să se facă și observațiile (independente de compas) pentru determinarea poziției navei, folosită la calcularea relevmentului magnetic Rm.

Exemplul 1. În ziua de 15 februarie 1973, în punctul φ = 37°15′.8 N; λ = 8°40′.8 E, la bordul m/n BUCUREȘTI se execută determinarea deviațiilor compasului

etalon, prin efectuarea a două girații și relevarea farului *Galitona*. Punctul navei a fost determinat prin procedeul unghiurilor orizontale; din acest punct farul Galitona se află în $Ra = 35°.2$; $d_{1973} = -3°.2$.

$$\begin{array}{l} \text{Deci: } Ra = 35°.2 \\ \underline{-d = -3.3} \\ Rm = 38°.5 \end{array}$$

Parțial, valorile observațiilor sunt trecut în *foile de observații pentru girația la tribord și babord*.

FOAIA DE OBSERVAȚII

Girația la tribord

Rp	*Rm*	δ
+ *Dc*	–*Rc*	
30°	38°.5	+3°.0
5.5	35.5	
20	38.5	+2.5
16	36	
10	38.5	+2.5
26	36	
0	38.5	+2.0
36.5	36.5	
350	38.5	+1.5
47	37	
340	38.5	+0.5
58	38	
330	38.5	–0.5
69	39	
320	38.5	–1.5
80	40	
310	38.5	–2.0
90.5	40.5	

etc.

⋮

Girația la babord

Rp	*Rm*	δ
+*Dc*	–*Rc*	
310°	38°.5	-3°.0
91.5	41.5	
320	38.5	–2.5
81	41	
330	38.5	–1.5
70	40	
340	38.5	–1.0
59.5	39.5	
350	38.5	0
48.5	38.5	
360	38.5	–0.5
39	38	
10	38.5	+1.0
27.5	37.5	
20	38.5	+1.5
17	37	
30	38.5	+2.0
6.5	36.5	

etc.

⋮

Cu deviațiile astfel calculate pe foile de observații, se trasează curbele de deviații pentru girația la tribord și babord (fig. 25-1); în raport cu cele două curbe, se trasează curba medie a deviațiilor.

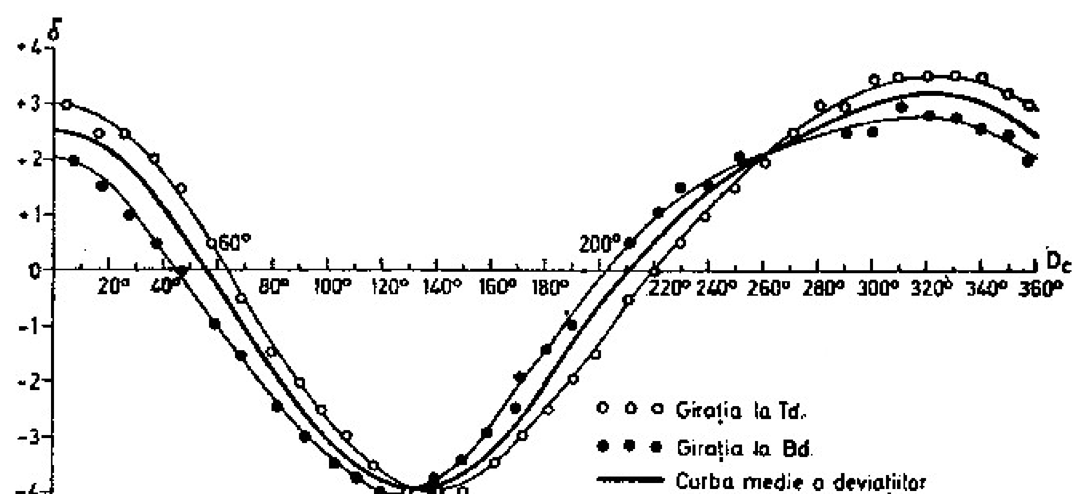


Fig. 25-1

Se scot deviaţiile pentru drumurile compas, din 10° în 10°, reprezentate de ordonatele curbei medii şi se întocmeşte *tabela de deviaţii.*

TABELA DE DEVIAŢII

–m/n BUCUREŞTI
Compas etalon
15.02.1973

– Locul' (φ = 37°15′.8 N; λ = 8°40′.8 E)
– Observaţiile la *Galitona*

De	δ	*Dm*	*De*	δ	*Dm*
0	+2.5	2.5	180	–2.0	178.0
10	+2.4	12.4	190	–1.2	188.8
20	+2.3	22.3	200	–0.6	199.4
30	+1.8	31.8	210	0	210.0
40	+1.1	41.1	220	+0.5	220.5
50	+0.4	50.4	230	+1.0	231.5
60	–0.4	59.6	240	+1.4	241.4
70	–1.2	68.8	250	+1.6	251.6
80	–1.7	78.3	260	+2.0	268.0
90	–2.3	87.7	270	+2.3	272.3
100	–3.0	97.0	280	+2.5	282.5
110	–3.4	106.6	290	+2.7	292.7
120	–3.8	116.2	300	+2.9	302.9
130	–4.0	126.0	310	+3.0	313.0
140	–3.8	136.2	320	+3.2	323.2
150	–3.6	146.2	330	+3.2	333.2
160	–3.3	156.2	340	+3.0	343.0
170	–2.6	167.4	350	+2.8	352.8

2. Cu un obiect depărtat de azimut necunoscut

Expresia de „azimut necunoscut“ folosită pentru denumirea acestui procedeu trebuie înțeleasă în sensul că relevmentul magnetic utilizat pentru calculul deviațiilor este cunoscut cu aproximație. Aproximația în stabilirea relevmentului poate să fie cauzată de lipsa unor repere favorabile pentru determinarea precisă a poziției navei, prin metode independente de compas, scara hărții prea mică etc.

Procedeul de urmat privind executarea observațiilor, calculul deviațiilor pe foile de observații, trasarea curbelor de deviații etc. este identic cu cel indicat mai sus la metoda „cu un obiect depărtat de azimut cunoscut“; în acest caz însă, după trasarea curbei medii a deviațiilor, *axa absciselor trebuie deplasată paralelă cu ea însăși, în sens pozitiv sau negativ, cu o valoare egală cu eroarea „a“ în relevmentul magnetic, astfel ca suma deviațiilor pozitive să fie egală cu suma deviațiilor negative.*

Eroarea în relevmentul magnetic a este dată de raportul dintre suma algebrică a deviațiilor, către numărul lor, sau cu o aproximație ce satisface rezolvarea practică a problemei:

$$a = \frac{\delta_{0^\circ} + \delta_{45^\circ} + \delta_{90^\circ} + \delta_{135^\circ} + \delta_{180^\circ} + \delta_{225^\circ} + \delta_{270^\circ} + \delta_{315^\circ}}{8}$$

Axa absciselor („drumurilor compas“) se deplasează paralel cu ea însăși, cu o valoare și în sensul erorii în relevment a, astfel calculată; deviațiile determinate de curba medie se scot în raport cu axa deplasată.

În cazul în care compasul are un coeficient A (vezi cap. 3, §4 și relația 3-9), cantitatea ε cu care se deplasează axa absciselor, paralelă cu ea însăși, este dată de expresia algebrică:

$$\varepsilon = a - A.$$

3. Cu observații la Soare

Operația se execută când înălțimea Soarelui este mică (< 30°), astfel ca măsurarea relevmentelor să se poată efectua cu ușurință și precizie.

Girația navei se inițiază când Soarele este văzut în apropierea traversului, cu sensul spre astru. Măsurarea relevmentelor se începe când Soarele este văzut în $Rp = 0°$, după ce nava a intrat într-o girație uniformă; se măsoară relevmentele prova la Soare, din 10° în 10°, și simultan se citește drumul compas (la toate compasurile magnetice de la bord.). În momentul primei și ultimei observații, se citește și ora cronometrului. Pentru înscrierea observațiilor și calculul deviațiilor, se recomandă folosirea următoarei foi de observații:

FOAIA DE OBSERVAȚII PENTRU GIRAȚIA LA TRIBORD (BABORD)

Număr de ordine	Ora cronometru	Rp	Dc	Rc = Rp + Dc	Az magnetic (Az_m)	δ
0 ⋮ 35°		0° ⋮ 350°				

După efectuarea celor 36 observații (din $Rp = 0°$ până în $Rp = 350°$)* și completarea foilor de observații, deviațiile se determină astfel:

– se calculează azimutul Soarelui pentru momentul primei observații Az_0 și al ultimei observații Az_{35}, din orele citite la cronometru în aceste momente și coordonatele poziției navei;

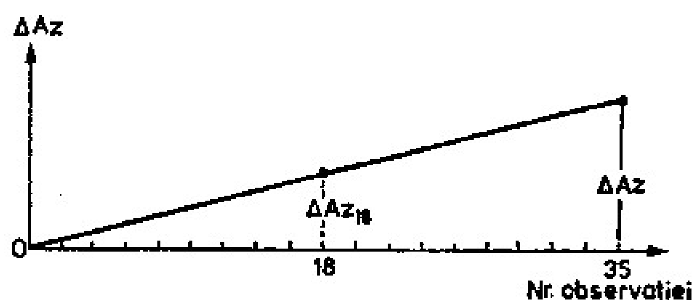


Fig. 25-2

– se calculează azimutul magnetic $Az_{m,0}$ pentru momentul primei observații funcție de declinația magnetică, din relația:

$$Az_{m,0} = Az_0 - d;$$

– se întocmește *graficul variației azimutului Soarelui* (fig. 25-2) pentru intervalul de timp al observațiilor. Întocmirea acestui grafic are la bază accepțiunea că pentru durata relativ redusă a girației, variația azimutului este proporțională cu timpul și că momentele observațiilor sunt separate de un interval de timp constant.

Pe axa absciselor se trec momentele celor 36 observații, indicate prin numărul lor de ordine, de la 0 la 35*, separate de o mărime grafică constantă. Din punctul 35, corespunzător ultimei observații (în $Rp = 350°$), se ridică ordonata egală cu variația azimutului ΔAz în intervalul de timp dintre prima și ultima observație: $\Delta Az = Az_{35} - Az_0$. Se unește apoi originea cu vârful ordonatei ΔAz, ridicată prin punctul corespunzător ultimei observații și se obține curba variației azimutului;

– se calculează deviațiile din foaia de observații pentru fiecare observație în parte, din relația:

$$\delta = Az_m - Rc$$

Azimutul magnetic Az_m pentru momentul unei osbservații oarecare se obține făcând suma azimutului magnetic pentru momentul primei observații $Az_{m,0}$ cu creșterea azimutului, reprezentată în grafic prin ordonata momentului observației respective; de exemplu, azimutul magnetic $Az_{m,18}$, pentru observația a 18-a, când Soarele a fost relevat în $Rp = 180°$, se obține din relația:

$$Az_{m,18} = Az_{m,0} + \Delta Az_{18},$$

unde ΔZ_{18} este creșterea azimutului pentru observația considerată, scoasă din grafic.

După calcularea completă a deviațiilor pe foaia de observații, se trasează *curba deviațiilor* și se întocmește *tabela de deviații*, în modul arătat mai sus la punctul 1.

* Se recomandă numerotarea observațiilor de la zero, pentru a se asigura corespondență între numărul de ordine și Rp în care s-a relevat Soarele; de exemplu, observația a 18-a s-a executat în $Rp = 180°$.

Este un procedeu care dă rezultate bune în practica navigației, fiind precis și comod de executat. Dată fiind distanța enormă la Soare, mărimea curbei de girație nu este condiționată; se recomandă deci ca girația să se mențină uniformă, din motivele arătate mai sus și să se execute cu un unghi de cârmă cât mai mic, pentru ca erorile de antrenare a rozei și histerezis magnetic să se mențină în limite neglijabile. În aceste condiții, determinarea deviațiilor se execută printr-o singură girație, realizându-se astfel economie de timp.

Pentru precizia operației, de foarte mare importanță este felul în care se execută măsurarea relevmentelor prova la Soare. Vizarea directă prin geamurile colorate ale alidadei sau folosirea oglinzii pentru relevare prezintă dificultăți și multiple surse de erori. Practica a dovedit următorul procedeu ca foarte precis și comod:

– se montează pe cercul azimutal o alidadă simplă, cu fir reticular, care se orientează succesiv pe gradațiile de relevmente prova multiplu de 10°, pe măsură ce nava girează;

– momentul măsurării relevmentului prova la Soare (multiplu de 10), pentru care alidada este dinainte orientată, este indicat de trecerea umbrei firului reticular pe centrul pivotului de rotire a alidadei.

În navigația la larg, dacă nava nu este dotată cu girocompas, acesta este unicul procedeu care poate fi aplicat pentru determinarea completă a deviațiilor compasurilor magnetice de la bord.

§3 Procedee pentru determinarea deviațiilor prin compararea drumurilor

1 Cu girocompasul

Girația navei se execută lent, cu viteză redusă și cu un unghi de cârmă mic. Operația de determinare a deviațiilor este condusă de la repetitorul de drum al girocompasului; pe timpul girației, din 10° în 10° drum girocompas, se citesc simultan drumurile compas *Dc* la compasurile magnetice de la bord, care se înscriu în *foaia de observații*.

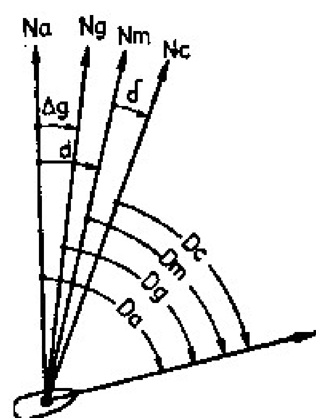


Fig. 52-3

Deviațiile magnetice se calculează astfel (fig. 25-3):

– se calculează drumurile adevărate *Da* corespunzătoare drumurilor girocompas: $Da = Dg + \Delta g$ (relația 4-22);

– se calculează drumurile magnetice *Dm* corespunzătoare drumurilor adevărate: $Dm = Da - d$;

– se calculează deviațiile, pe foaia de observație, pentru drumurile compas *Dc* citite: $\delta = Dm - Dc$.

Exemplul 2. 23 mai 1973. Pe timpul girației la tribord s-au făcut următoarele citiri:

– la girocompas------------- $Dg_1 = 30°$ ------------- $Dg_2 = 40°$ -------------------------

– la compasul etalon ------- $Dc_1 = 31°.5$ ------------ $Dc = 42°$ -------------------------

Corecția girocompasului $\Delta g = +0°.5$; $d_{1973} = -2°.2$.

Foaia de observații pentru girația la tribord

Girocompas		*Da*	*d*	*Dm*	Compas etalon *Dc*	δ
Dg	Δ*g*					
30°	+0°.5	30°.5'	–2°.2	32°.7	31°..5	+1°.2
40	+0.5	40.5	–2°.2	42.7	42	+0.7
etc.						etc.

Se trasează apoi curba deviațiilor și se întocmește tabela de deviații, în modul indicat mai sus la § 1, punctul 1.

Dacă girația se execută lent și uniform, așa cum s-a arătat, erorile de antrenare a rozei și histerezis magnetic sunt neglijabile, astfel că determinarea deviațiilor se efectuează printr-o singură girație.

Aplicarea acestui procedeu nu este condiționată de vizibilitate, de zi sau noapte, fapt deosebit de important mai ales la navele maritime de transport, la care necesitatea determinării deviațiilor apare mai frecvent, ca urmare a operațiunilor de încărcare/descărcare de mărfuri cu proprietăți magnetice, iar plecările din port sunt impuse la ore și în condiții de observație variate.

Este un procedeu precis și comod, care se recomandă a se aplica cu prioritate la navele dotate cu girocompas. Aplicarea lui este condiționată însă de cunoașterea corecției girocompasului Δ*g*, care se determină în modul indicat mai jos, la § 4.

2 Cu un compas magnetic ale cărui deviații sunt cunoscute

Pe timpul girației, din 10° în 10°, se citește simultan drumul compas *D'c,* la compasul cu deviații cunoscute și *Dc,* la compasul ale cărui deviații trebuie determinate.

Se calculează drumurile magnetice corespunzătoare drumurilor compas *D'c*, folosind relația: $Dm = D'c + \delta$.

Deviațiile se calculează din relația: $\delta = Dm - Dc$.

Exemplul 3. În timpul girației la tribord s-au citit simultan:

– la compasul magnetic cu deviații cunoscute (compas etalon)... $D'c_1 = 60°$ ($\delta = +1°.5$) etc.;

– la compasul magnetic ale cărui deviații trebuie determinate (compasul de drum)... $Dc = 66°$.

Foaia de observații (girația la tribord)

Compasul etalon		Dm	Compas de drum	
D'c	δ		Dc	δ
60°	+1°.5	61°.5	66°	-4°.5
etc.				etc.

Se trasează apoi curba deviațiilor și se întocmește tabela de deviații în modul indicat mai sus la §2, p. 1.

Procedeul se aplică la navele care nu sunt dotate cu girocompas, îndeosebi în situațiile când la unul din compasurile de la bórd sau în apropierea lui s-au efectuat lucrări capabile să-i modifice deviațiile.

§4 Controlul corecției compasului

Prin *controlul corecției compasurilor magnetice*, etalon și de drum, se înțelege activitatea curentă a ofițerului de cart, în navigație, de a determina corecția Δc a acestora, în drumurile urmate de navă.

Controlul corecției girocompasului Δg se efectuează la intervale mai mari, când se oferă posibilitatea aplicării unor procedee precise; controlul curent al girocompasului în navigație se efectuează prin compararea continuă a indicațiilor acestuia cu cele ale compasului magnetic, de către timonier și verificarea de către ofițerul de cart, după fiecare schimbare de drum.

1 Cu un aliniament

Este un procedeu precis, care se recomandă a fi aplicat cu prioritate, îndeosebi pentru controlul corecției girocompasului. Se procedează astfel:

– în momentul în care nava „taie" aliniamentul, se măsoară relevmentul compas *Rg* sau *Rc* la unul din obiectele acestuia. În cazul controlului corecției compasului magnetic, simultan se citește și drumul compas. Momentul „tăierii" aliniamentului se controlează de către un observator cu binoclul;

– se stabilește relevmentul adevărat *Ra* determinat de aliniament;

– corecția giroscopului $\Delta g = Ra - Rg$;

– corecția compasului magnetic Δc se obține astfel: se calculează $Rm = Ra - d$ și apoi $\delta = Rm - Rc$; aceasta reprezintă deviația compasului pentru *Dc* în care se afla nava în momentul „tăierii" aliniamentului.

Exemplul 4. În ziua de 23 aprilie 1973, la trecerea navei prin aliniamentul farurilor Constanța, orientat în *Ra* = 270°.6, se măsoară simultan următoarele relevmente:

– la girocompas (cu corector automat „Delta") ... *Rg* = 271°.3;

– la compasul magnetic etalon... *Rc* = 268°.5 în *Dc* = 35°; d_{1973} = + 3°.5.

Se cer corecțiile celor două compasuri.

Rezolvare:

Girocompas	Compas etalon
$Ra = 270°.6$	$Ra = 270°.6$
$-Rg = 271.3$	$-Rg = 271.3$
$\Delta g = -0°.7 = A$	$\Delta c = +2.1$
	$-d = +3.5$
	$\delta = -1°.4$ pentru $Dc = 35°$

Deviaţia compasului magnetic se calculează pentru comparare cu cea conţinută în *tabela de deviaţii*, în drumul compas respectiv.

2 Prin determinarea punctului navei cu o metodă independentă de compas

În navigaţia costieră, odată cu executarea observaţiilor pentru determinarea poziţiei navei printr-o metodă independentă de compas (cu unghiuri orizontale, distanţe) se măsoară simultan şi un relevment compas *Rc* la un obiect.

Din punctul determinat se scoate din hartă relevmentul adevărat *Ra* la obiect, din care se calculează corecţia compasului: $\Delta c = Ra - Rc$; şi apoi deviaţia: $\delta = \Delta c - d$.

3 Prin procedee astronomice

Corecţia compasului se obţine astfel:

– se măsoară relevmentul compas *Rc* sau/şi *Rg* la astru;

– se calculează azimutul astrului *Az* pentru momentul observaţiei, metoda de calcul şi elementele necesare fiind funcţie de astrul observat;

– se calculează corecţia compasului: $\Delta c = Ra - Rc$ şi $\delta = \Delta c - d$, în cazul compasului magnetic; $\Delta g = Ra - Rg$, în cazul girocompasului.

Procedeele astronomice folosite cel mai frecvent pentru controlul corecţiei compasului sunt următoarele:

– *cu un astru oarecare,* la o înălţime care să nu depăşească 30°. Azimutul se calculează din φ, δ şi *P*, în modul arătat la capitolul 15, §3, la precizie de 0°.1; pentru obţinerea elementelor de calcul, în momentul măsurării *Rc* şi/sau *Rg* la astru, se iau următoarele date: ora cronometrului (necesară calculului unghiului la pol *P*) şi citirea la loch (pentru determinarea punctului estimat).

În practica navigaţiei, acest procedeu îşi găseşte aplicarea îndeosebi prin observaţii la Soare;

– *cu Soarele, în momentul răsăritului sau apusului vizibil.* Relevmentul compas se măsoară în momentul când bordul inferior al Soarelui tangentează linia orizontului vizibil, la răsărit sau apus. Aplicarea procedeului este condiţionată de vizibilitate bună pe direcţia răsăritului sau apusului; dacă această condiţie este satisfăcută, măsurarea relevmentului compas se poate face cu precizie, prin vizarea directă a Soarelui.

Calculul azimutului se face în modul indicat la capitolul 25, § 4;

– *cu Steaua Polară.* Azimutul se calculează comod în modul indicat la capitolul 25, § 5. Procedeul este aplicabil numai în emisfera terestră nordică, la latitudini cuprinse între 0° și 40°N. La latitudini superioare acestora, măsurarea relevmentului devine dificilă și lipsită de precizie, datorită înălțimii mari a Stelei Polare.

Exemplul 5. În ziua de 9 noiembrie 1973 în punctul $\varphi = 43°05'N$; $\lambda = 29°\ 06'E$, ora cronometrului $A = 8^h41^m44^s$ se măsoară la Soare:

– la compasul etalon... $Rc = 154°$ ... $Dc = 165°$;

– la girocompas .... $Rg = 160°.5$

– $d_{1973} = +\ 3°.5$.

Se cere corecția celor două compasuri.

Rezolvare:

a – Calculul lui *P*

$A = 8^h41^m44^s$

$+ (Tm - A) = -\ 10\ \ 24$

$Tm = 8^h31^m20^s$ din 9.11.

9.11 pt. $Tm = 8^h$	$Ta = 304°02'.4$	$\delta = S16°51'.1$ ($d = 0'.7$)
Var. pt. $\Delta Tm = 31^m20^s$	$\Delta Ta = 7\ \ 50.0$	$\Delta\delta = 0.4$
v9.11 pt. $Tm = 8^h31^m20^s$	$Ta = 311\ \ 52.4$	$\delta = S16°51'.5$
	$+\lambda = +29\ \ 06.0$	
	$ta = 340°58'.4$	$PE = 19°01'.6$

b – Calculul azimutului

$\text{ctg } Z = \text{tg } \delta \cos \varphi \text{ cosec } P - \sin \varphi \text{ ctg } P = (-x) + (-y)$

$\log \text{tg } \delta = 9.48148$

$\log \cos \varphi = 9.86354$

$\log \text{cosec } P = 0.48662$

$\log x = 9.83164$

$x = -0.6786$

$+y = -1.9800$

$\text{ctg } Z = -2.6586$

$\log \text{ctg } Z = 0.42465$

$Z = N\ 159°.6\ E$

$Az = 159°.6$

$\log \sin \varphi = 9.83446$

$\log \text{ctg } P = 0.46221$

$\log y = 0.29667$

c – Compas etalon

$Az = 159°.6$

$-Rc = 154.0$

$\Delta c = +5.6$

$-d = +3.5$

$\delta = +2°.1$ pt. $Dc = 165°$

d – Girocompas

$Az = 159°.6$

$-Rg = 160.5$

$\Delta g = -0°.9$

PARTEA A ȘASEA
Navigația electronică

Considerații introductive privind sistemele electronice de navigație
Radiogoniometria în navigația maritimă
Sistemul loran
Sistemul decca
Sistemul omega
Radarul în navigația maritimă
Navigația cu sateliți. Principii
Navigația inerțială. Principii

PART VI
Electronic navigation

Introductory considerations relating to electronic systems of navigation. Marine Radio direction-finding
The Loran System
The Decca System
The Omega System
Radar in maritime navigation
Satellite – aided navigation. Principles
Inertial navigation. Principles

26 CONSIDERAȚII INTRODUCTIVE PRIVIND SISTEMELE ELECTRONICE DE NAVIGAȚIE. RADIOGONIOMETRIA ÎN NAVIGAȚIA MARITIMĂ

§1 Considerații introductive privind sistemele electronice de navigație

1 Generalități

Până în anul 1939, singurul mijloc electronic de navigație a fost *radiogoniometrul. Radiogoniometria este sistemul de radiolocație* care se bazează pe *măsurarea direcției de propagare a radioundelor,* ce definește *relevmentul radiogoniometric la emițător.* Punctul navei se obține prin intersecția a două sau mai multe *relevmente radio.* Pentru trasarea lor pe harta Mercator este necesară cunoașterea poziției emițătorului; aceste emițătoare folosite pentru navigația maritimă se numesc *radiofaruri maritime* și se instalează la coastă, în locuri de unde se poate asigura o propagare favorabilă a radioundelor.

În ultimele trei decenii s-au realizat și perfecționat o serie de noi mijloace electronice de navigație, care aduc servicii imense siguranței navigației și economiei transporturilor maritime. Aceste mijloace folosesc un nou element esențial: *măsurarea vitezei de propagare a radioundelor și, pe această bază, a distanței la emițător sau la un obiect, capabil să reflecte fasciculul de unde.*

Astfel, *radarul,* mijloc electronic de bază al navigației moderne, combină ambele elemente de radiolocație: determinarea direcției și a distanței la un obiect („țintă"), capabil să reflecte semnalul radio transmis de la navă. Poziția navei cu ajutorul radarului se stabilește prin intersecția celor două linii de poziție pe care le determină: *cerul de egală distanță și dreapta de relevment.* Superioritatea radarului constă în faptul că el permite rezolvarea a două probleme de bază ale navigației moderne: determinarea poziției navei și evitarea pericolului de coliziune, factor de o însemnătate deosebită în condițiile traficului maritim actual.

Sistemele hiperbolice de navigație (loran, decca și omega) se bazează pe determinarea *diferenței de distanță* la două sau mai multe *perechi de stații* de emisie. Linia de poziție folosită de aceste sisteme este *hiperbola,* definită de diferența de distanță la două stații de emisie, ale căror poziții reprezintă cele două focare ale curbei; punctul navei se află la intersecția a cel puțin două asemenea linii de poziție, determinate prin măsurarea diferenței de distanță la două perechi de stații de emisie, de poziții cunoscute. În aplicarea sistemelor hiperbolice, a căror denumire derivă de la natura geometrică a liniei de poziție folosită, măsurarea diferenței de distanță este substituită prin:

– măsurarea *diferenței de timp* dintre momentele recepției la bord a semnalelor de la cele două stații, considerând viteza de propagare a undelor constantă; procedeul se aplică la sistemul loran, ale cărui stații emit impulsuri de energie electromagnetică;

– măsurarea *diferenței de fază* a radioundelor recepționate de la cele două stații, care emit unde continue; procedeul se aplică la sistemele decca și omega.

Denumirea acestora de *sisteme electronice de navigație* este justificată de faptul că elementele care stau la baza determinării poziției, măsurarea direcției și vitezei de propagare a undelor electromagnetice, a diferenței de timp și respectiv a diferenței de fază, se realizează cu mijloace electronice. De asemenea, *navigația cu sateliți,** deși nu se bazează pe propagarea radioundelor, sunt considerate tot ca sisteme electronice, deoarece, tehnologia realizării lor este în principal de natură electronică.

Sistemele electronice de navigație dau deci răspuns cerințelor de bază ale navigației moderne:

– determinarea punctului navei, *indiferent de condițiile de vizibilitate;* problema este rezolvată de toate aceste sisteme;

– controlul poziției navei proprii în raport cu navele din jur și rezolvarea problemelor de evitare a pericolului de coliziune, cu ajutorul radarului;

– găsirea unei nave aflate în pericol pe mare, cu ajutorul radiogoniometrului și radarului.

Conferința internațională pentru mijloacele electronice de navigație (1946), care a avut un rol important în orientarea preocupărilor pentru dezvoltarea sistemelor moderne de radiolocație, a clasificat aceste mijloace în trei categorii:

a – Mijloace de navigație oceanică sau de larg, care trebuie să satisfacă cerințele navigației la o distanță mai mare de 50 Mm la cel mai apropiat pericol. Precizia cerută ± 1% din distanța la cel mai apropiat pericol de navigație. Urgența rezolvării problemei de poziție de cel mult 15 minute. Din această categorie, navigația maritimă se folosește în prezent de sistemele loran, decca și omega.

b – Mijloace de aterizare la coastă și de navigație costieră, utilizabile la distanțe de 50–3 Mm de cel mai apropiat pericol de navigație, precizia ± 0.5 la ±0.1 Mm, urgența informației 5–0.5 minute. În prezent, din această categorie fac parte radiogoniometrul, radarul, sistemele loran și decca.

c – Mijloace de navigație în ape înguste și de pilotaj, care trebuie să satisfacă cerințele unei navigații sigure la distanțe mai mici de 3 Mm la cel mai apropiat pericol, precizia necesară ±45 metri, urgența informației – instantanee. Aceste cerințe sunt satisfăcute în prezent de radar și sistemul decca.

2 Câteva cuvinte despre propagarea radioundelor, ce interesează aplicarea sistemelor electronice de navigație

Viteza de propagare a radioundelor se consideră egală cu 300 000 Km/s = = 162 000 Mm/s; o radioundă parcurge distanța de 1 Mm în 6.1838 microsecunde (*μs*). Această viteză nu este constantă, ci variază în funcție de *conductivitatea* suprafeței terestre deasupra căreia se propagă și de proprietățile fizice ale atmosferei. Astfel, viteza de propagare deasupra mării este mai mare decât deasupra uscatului,

---

* Deoarece aplicarea acestor două sisteme la bordul navelor maritime comerciale nu este de importanță actuală sau a viitorului apropiat, ele sunt tratate la capitolele 31 și 32 doar cu caracte: informativ.

iar în aceeaşi zonă maritimă, viteza este diferită pe timpul verii faţă de perioada de iarnă, datorită influenţei temperaturii şi densităţii atmosferice.

Erorile produse de această variaţie în aplicarea sistemelor electronice de navigaţie sunt însă neînsemnate, astfel că în studiul lor viteza de propagare a radioundelor se consideră constantă.

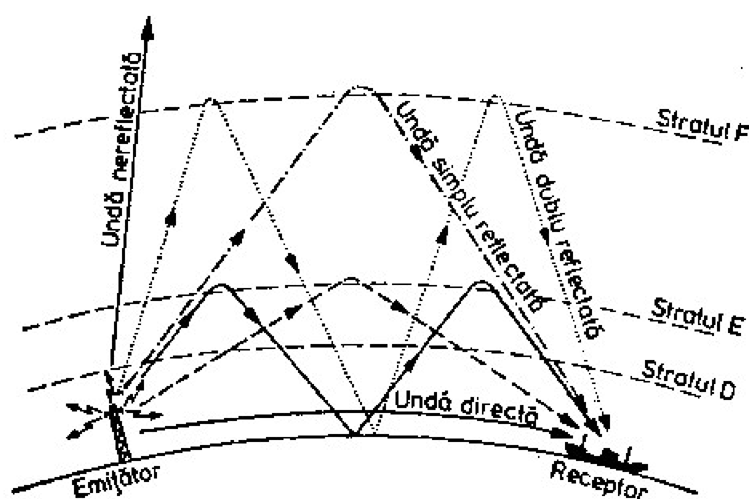


Fig. 26-1

Propagarea radioundelor este influenţată în mare măsură de existenţa *ionosferei* şi, în principal, de *stratul E („stratul Kennelly")*, situat la o altitudine de circa 90 km, şi *stratul F („stratul Appleton")*, la înălţimi de 200–300 km (fig. 26-1). Deoarece ionizarea acestor straturi este generată, în principal, de energia solară, densitatea ionilor variază funcţie de perioada zilei (mai mare ziua decât noaptea), de sezon şi poziţia geografică.

Ionosfera produce *reflexia* anumitor unde şi atenuarea energiei lor, datorită *absorbţiei*; intensitatea acestor fenomene este funcţie de frecvenţa undei şi gradul de ionizare. La frecvenţele sistemelor electronice folosite în navigaţie, stratul *E* joacă rolul preponderent. Unda ajunsă la suprafaţa terestră ca urmare a reflexiei pe straturile ionosferice se numeşte *undă reflectată (sky wave)** sau *undă ionosferică;* în punctul de contact cu suprafaţa terestră, unda poate fi *reflectată* din nou spre stratul ionosferic, fenomenul repetându-se până când energia ei se anulează. Undele de frecvenţe mai mari de circa 30 Mhz (lungimi de undă sub circa 10 m) pătrund prin ionosferă fără a fi reflectate.

O altă parte a energiei radiate de emiţător se propagă direct spre receptor, urmând mai mult sau mai puţin curbura Pământului, numită *undă directă (ground wave);* energia ei este atenuată puternic sub influenţa difracţiei în jurul suprafeţei curbate terestre şi a absorbţiei solului. Bătaia undelor directe variază invers cu frecvenţa lor. Rezultă că pentru a se obţine o bătaie mare a undelor directe, puterea de emisie fiind limitată de considerente de ordin practic, se poate acţiona prin alegerea adecvată a frecvenţei de lucru.

Datorită atenuării energiei undei directe, care este mai pronunţată, decât a celei reflectate, precum şi a curburii Pământului, la aceeaşi putere de emisie, bătaia undei

---

* Documentaţia folosită la bordul navelor noastre privind aplicarea sistemelor electronice de navigaţie este în limba engleză; de aceea, în cele ce urmează se dau corespondenţii în această limbă ai termenilor necesari în navigaţie.

reflectate este mai mare decât a celei directe. La frecvențele folosite în sistemele de radiolocație, *odată cu creșterea distanței față de emițător*, recepția aceluiași semnal are loc în următoarea succesiune: la început exclusiv unda directă, apoi unda directă și reflectată, după care numai unda reflectată. Această succesiune de recepție a semnalelor poate fi văzută pe un indicator loran; semnalele undelor reflectate de stratul *D* pot fi observate la sistemul decca, care lucrează în frecvențe de 80–150 kHz.

Pe timpul zilei, ionizarea straturilor superioare ale atmosferei este mai intensă decât noaptea, ceea ce face ca atenuarea energiei undelor să fie mai mare ziua decât noaptea. De aceea, undele reflectate sunt recepționate în mai mică măsură pe timpul zilei sau chiar deloc, iar bătaia undelor reflectate este mai mare noaptea decât ziua.

Bătaia undelor directe depinde, de asemenea, de natura suprafeței terestre dintre emițător și receptor, precum și de forma reliefului. Solul stâncos sau nisipos, precum și relieful înalt reduc bătaia undei; apa de mare și solul umed influențează favorabil propagarea undei și deci bătaia ei.

Descărcările electrice în atmosferă influențează apreciabil propagarea radioundelor; acestea se resimt în mod deosebit în zonele tropicale.

§2 Principiul măsurării relevmentului radiogoniometric

Radiogoniometrul este un aparat de radiorecepție prevăzut cu o *antenă cadru* (cadru electromagnetic vertical), cu care se determină direcția radioundelor provenite de la un emițător. Unghiul dintre direcția nord adevărat și direcția de propagare a radioundei este *relevmentul radiogoniometric* (în navigație denumit *relevment radio*), care stă la baza determinării *liniei de poziție radio*, folosită pentru rezolvarea problemei punctului navei. Intersecția a două sau mai multe linii de poziție determină un *punct radio* (cu observații *simultane* sau *succesive* – vezi cap. 10, §1).

Convenția internațională pentru ocrotirea vieții umane pe mare, precum și normele Registrului Naval Român prevăd obligativitatea dotării navelor maritime mai mari de 1 600 TRB, ce efectuează călătorii internaționale, cu un radiogoniometru. Dat fiind serviciile importante ce le aduce navigației și costul lui relativ redus, indiferent de tonaj, practic aproape toate navele destinate navigației maritime sunt dotate cu un radiogoniometru.

Semnalele radio destinate radiogoniometrării de la bord sunt emise de *radiofaruri maritime circulare;* acestea sunt instalate în locuri adecvate, la coastă sau pe *nave-far*, în zonele de trafic intens sau cu condiții dificile de navigație.

Radiogoniometria la bordul navei oferă posibilitatea rezolvării unor probleme importante pentru siguranța navigației, astfel:

– determinarea poziției navei *indiferent de condițiile de vizibilitate;*

– aterizarea la coastă cu prova pe un radiofar, folosind relevmentul radio ca relevment direcțional, de importanță practică îndeosebi când vizibilitatea este redusă;

– găsirea unei nave aflate în pericol, în condiții în care aceasta dispune de un emițător pentru transmiterea de semnale radio.

1 Determinarea direcției de propagare a radioundelor cu cadrul mobil

Unda electromagnetică emisă de o antenă verticală AA' se compune dintr-un câmp electric care oscilează în plan vertical și un câmp magnetic, oscilatoriu în plan orizontal; intensitatea acestor câmpuri variază magnetic, oscilatoriu în plan orizontal; intensitatea acestor câmpuri variază în ritmul frecvenței de emisie, în formă sinusoidală, de la zero la o valoare maximă într-un sens și apoi din nou prin zero până la o valoare maximă în sens opus. Oscilația este în fază, adică ambele câmpuri simultan prin zero și apoi prin intensitatea lor maximă.

Direcția de propagare CC' a radioundelor este radială față de antena de emisie AA' și perpendiculară pe planul determinat de vectorul magnetic m și, respectiv de cel electric e, într-un punct oarecare P al câmpului electromagnetic (fig. 26-2).

Pentru determinarea direcției de propagare a undelor recepționate la bord, se folosește proprietatea directivă a cadrului vertical al radiogoniometrului, care servește în acest caz drept colector de unde. *Cadrul mobil* folosit de radiogoniometrele navale este de formă circulară (fig. 26-3); el se montează pe puntea etalon deasupra *camerei hărților,* de unde se rotește de către operator pe timpul goniometrării. Spirele înfășurate în tubul circular al cadrului sunt conectate la radioreceptor.

Funcționarea la recepție a cadrului mobil poate fi urmărită asimilându-l cu o bobină străbătută de fluxul variabil al câmpului magnetic al undei incidente. Pentru aceasta considerăm cadrul cu centrul de rotație în O (văzut de sus), în diferite poziții față de direcția de propagare a unei (fig. 26-4).

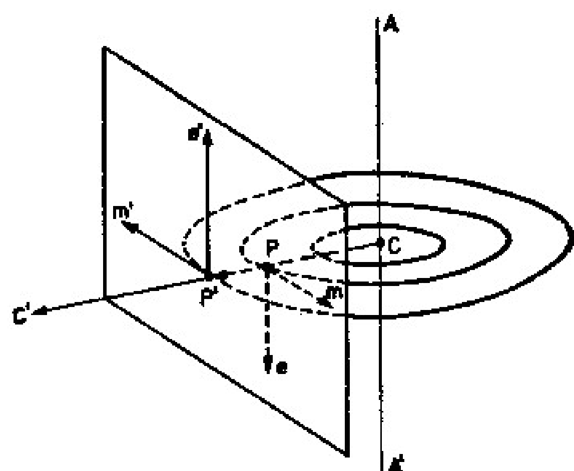


Fig. 26-2

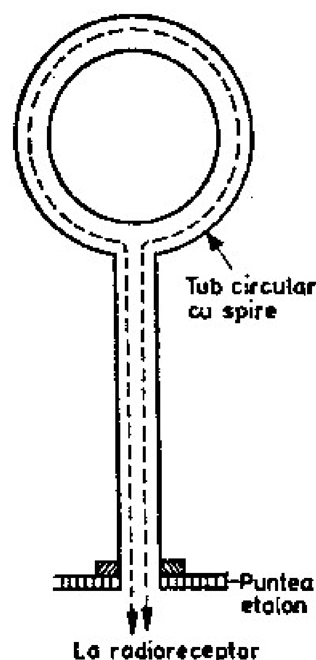


Fig. 26-3

În poziția AB, cînd *cadrul este orientat pe direcția de propagare a undei incidente,* spirele lui sunt supuse acțiunii unui număr maxim de linii ale câmpului magnetic oscilatoriu. Tensiunea electromotoare indusă în cadru în acest caz este maximă E; intensitatea semnalului auditiv în casca radiogoniometrului este *maximă.*

În poziţia *CD* a cadrului, *normală la direcţia de propagare a undei*, liniile de forţă ale câmpului magnetic sunt paralele cu spirele acestuia şi tensiunea electromotoare indusă este nulă; intensitatea semnalului auditiv este deci nulă („*stingerea*" semnalului).

Într-o poziţie oarecare *FG* a cadrului, de un unghi α faţă de direcţia de propagare a undei, numărul liniilor de forţă ale câmpului magnetic ce acţionează

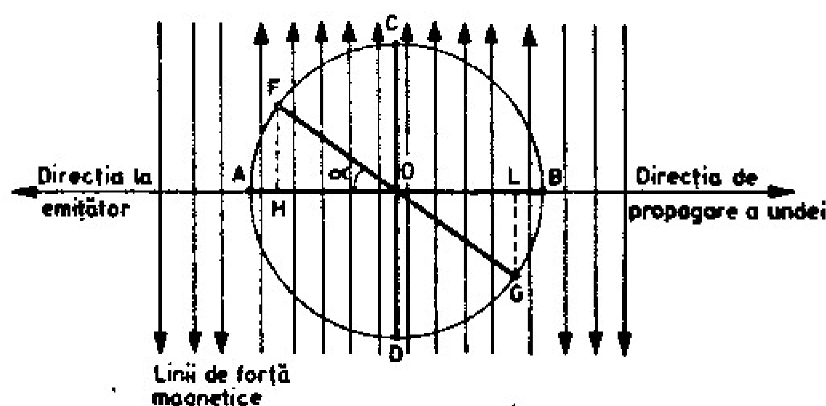


Fig. 26-4

asupra spirelor lui, faţă de cazul când cadrul se afla în poziţia *AB*, este în următoarea proporţie:

$$\frac{HL}{AB} = \frac{HO}{AO} = \cos\alpha$$

Rezultă că, într-o poziţie oarecare a cadrului, de un unghi α faţă de direcţia de propagare a undei, tensiunea electromotoare *E* indusă în spirele acestuia este

$$E = E_{max}\cos\alpha \qquad (26\text{-}1)$$

Caracteristica direcţională în plan orizontal a unui cadru ideal poate fi reprezentată printr-o diagramă polară al cărei centru *O* este centrul de rotaţie al cadrului, de forma redată în figura 26-5.

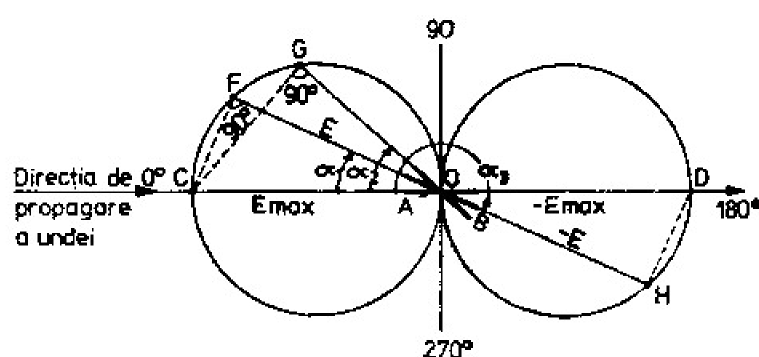


Fig. 26-5

Când cadrul este în poziţia *AB*, pe direcţia de propagare a undei, tensiunea electromotoare indusă în acesta este *maximă* $Emax = OC = -OD$. Rotindu-se cadrul de unghiul α_1, tensiunea electromotoare indusă este reprezentată de segmentul $OF = OC\cos\alpha_1$; punctul *F* trebuie să fie situat pe un cerc de diametru *OC*, deoarece în acest caz $\sphericalangle\ OFC = 90°$, iar coarda $OF = OC\cos\alpha_1$. Rezultă că, la rotirea în continuare a cadrului de unghirile α_2, α_3 etc., tensiunile induse sunt reprezentate de

coardele $OG = OC \cos \alpha_2$, $OH = -OD \cos \alpha_3$ etc.; diagrama polară care arată deci variaţia tensiunii electromotoare indusă în cadru, respectiv variaţia intensităţii semnalului auditiv, la o rotire de la 0° la 360° a cadrului, este reprezentată de două cercuri tangente în 0, ale căror diametre egale cu E_{max}, sunt orientate pe direcţia de propagare a undei; dat fiind forma ei, această diagramă mai este denumită şi *„curba în opt"*.

Diagrama polară (fig. 26-5) arată că la o rotire a cadrului de 360° se produc:

– două semnale de intensitate maximă (numite *„maxime"*), când cadrul este orientat pe direcţia de propagare a undei, indiferent de sens;

– două *„stingeri"* ale semnalului, când cadrul este normal pe direcţia de propagare a undei;

– variaţia intensităţii semnalului recepţionat este evidentă în apropierea *stingerilor* şi lentă în apropierea *maximelor*. De aceea, din motive de precizie şi comoditate a procedeului, determinarea direcţiei de propagare a undelor se face prin folosirea *stingerilor* şi nu a *maximelor*.

Astfel, dacă emiţătorul se află în $Rp = 0°$, în prova, stingerea semnalului se produce când cadrul este orientat la travers; în această poziţie a *indicelui de rotire* a cadrului se consideră gradaţia 0° (180°), care constituie baza orientării şi gradării cercului azimutal folosit pentru măsurarea relevmentelor prova radiogoniometrice.

Din cele arătate mai sus rezultă că, cadrul mobil conectat la radioreceptor rezolvă determinarea direcţiei de propagare a undelor, însă nu şi a sensului. Când relevmentele se măsoară la radiofaruri de la coastă, sensul este implicit determinat prin poziţia acestuia în raport cu nava. Practic, în navigaţia maritimă, determinarea sensului se impune la goniometrarea radiofarurilor de pe nave-far *şi în mod deosebit la operaţiuni de salvare.*

2 Determinarea sensului

Pentru determinarea sensului la emiţător se combină efectul cadrului cu efectul unei antene verticale, numită *antenă auxiliară*.

Diagrama polară a cadrului (fig. 26-5) arată că tensiunea rezultantă care acţionează schimbă de sens cu 180°, când sensul din care sosesc undele este opus, direcţia rămânând aceeaşi; astfel $OC = -OD$, iar $OF = -OH$ etc.

Caracteristica unei antene verticale este reprezentată printr-o diagramă polară de forma unui cerc; dacă antena verticală se roteşte de 360° sau emiţătorul se roteşte în jurul acesteia la aceeaşi distanţă, tensiunea electromotoare indusă este aceeaşi.

Dacă tensiunea obţinută în antena auxiliară, reprezentată prin diagrama circulară cu centrul în O (centrul cadrului), de diametru OC (fig. 26-6), se reglează astfel ca să fie egală cu tensiunea maximă $E_{max} = OC$ a cadrului orientat pe direcţia de propagare a undei şi se aplică în cadru şi tensiunea antenei auxiliare, diagrama recepţiei însumate ia forma unei *cardioide*; ea se obţine prin însumarea algebrică a tensiunilor induse în cadru cu cele induse în antena verticală.

Tensiunea OC, OG etc. indusă în cadru se adună cu cea indusă în antenă OC, OH etc., când acestea sunt în fază, obţinându-se tensiunile rezultante $OF = OC_{cadru} + OC_{antenă}$, $OK = OG + OH$ etc. În poziţiile cadrului în care cele două tensiuni sunt defazate, tensiunile cadrului OD, OL etc. se scad din cele ale antenei

OD, ON etc., şi se obţin tensiunile rezultante $OD_{cadru} - OD_{antenă}$ = zero, $OM = ON - OL$ etc. Astfel se obţine *cardioida*, diagrama recepţiei combinate cadru-antenă auxiliară.

Considerând deci cadrul orientat pe direcţia de propagare a undei, în momentul conectării antenei auxiliare, emiţătorul se află în sensul semnalului maxim cadru-antenă.

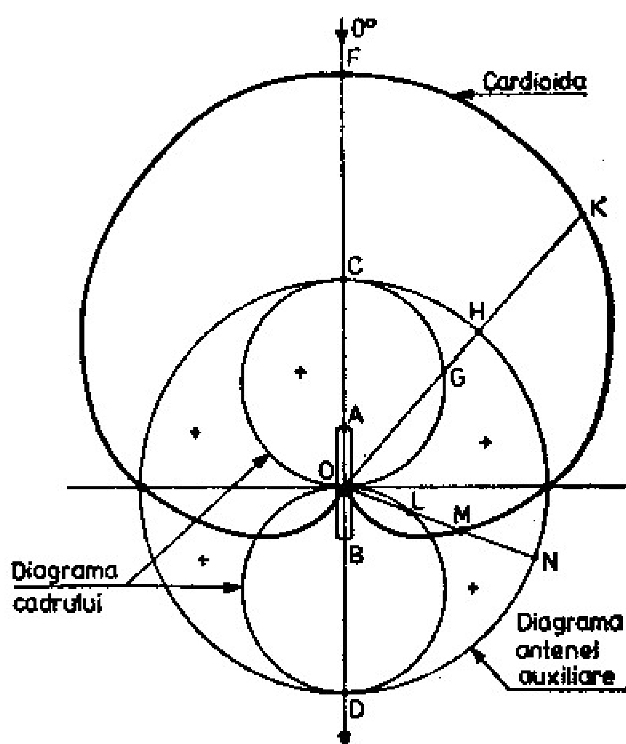


Fig. 26-6

Ansamblul radioreceptor – cadru – antenă auxiliară formează radiogoniometrul *(radio direction – finder)*, capabil să determine direcţia de propagare a undelor şi sensul spre emiţător.

Practic, măsurarea relevmentului radio în direcţie şi sens se efectuează astfel:

– se face *căutarea* emiţătorului prin rotirea cadrului şi în poziţia *stingerii* semnalului se determină direcţia de propagare a undei; citirile relevmentului radio diferă cu 180°, în cele două sensuri posibile la emiţător;

– se roteşte cadrul de 90°, aducându-l în poziţia semnalului *maxim* cadru;

– se conectează antena auxiliară. Sensul la emiţător este indicat de recepţia *maximă* cadru-antenă auxiliară.

3 Radiogoniometrarea cu cadru fix. Sistemul Bellini-Tosi

Sistemul cadrului mobil prezintă dezavantajul că acesta trebuie montat deasupra locului unde se instalează radiogoniometrul, aşa cum s-a arătat, la bordul navelor maritime comerciale pe puntea etalon, deasupra camerei hărţilor sau a staţiei radio. La o serie de tipuri de nave însă, la care anumite părţi constructive se pot interpune în calea propagării undelor (suprastructuri, instalaţie încărcare, greement etc.),

precizia relevmentelor poate fi afectată. Sistemul Bellini-Tosi, al cadrului fix, înlătură acest dezavantaj.

Sistemul constă din două cadre fixe, reciproc perpendiculare: cadrul *A*, orientat în planul diametral al navei și un cadru *B*, în plan transversal, ambele conectate la câte o *bobină de câmp a și b*, fixe și cu aceeași orientare ca și cadrele la care sunt legate (fig. 26-7).

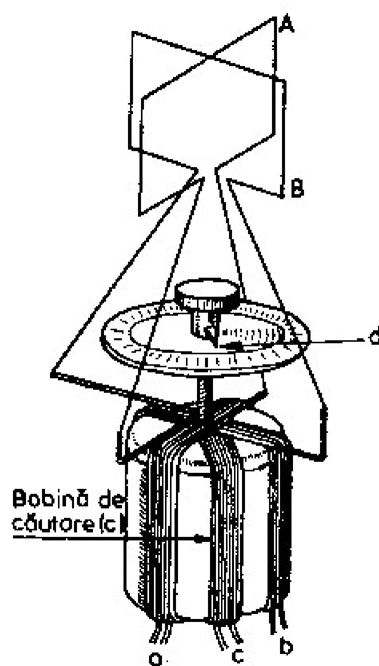


Fig. 26-7

În interiorul bobinelor fixe de câmp *a* și *b* este instalată o *bobină de căutare c*, cu cele două capete ale spirelor conectate la radioreceptor, ce se poate roti în jurul unui ax vertical (la care este rigid legat indicatorul de goniometrare *d*).

Undele sosite de la un emițător oarecare induc în cele două cadre curenți care străbat bobinele de câmp, formând două câmpuri magnetice reciproc perpendiculare. Câmpul magnetic rezultant format de acestea are aceeași orientare față de axele bobinelor de câmp ca și direcția semnalului recepționat de la emițător, în raport cu planele celor două cadre fixe.

Direcția câmpului rezultant se determină cu ajutorul bobinei de căutare *c*; tensiunea electromotoare indusă în ea este maximă când axa bobinei este orientată pe direcția câmpului și este nulă dacă axa bobinei este normală la această direcție.

Cadrul fix se montează la bord într-o poziție adecvată, astfel ca propagarea undelor recepționate de el să nu fie perturbată de părți constructive sau instalații ale navei.

4 Principiul radiogoniometrului cu căutare automată (automatic direction-finder)

Radiogoniometrele automate au fost instalate inițial la bordul avioanelor. În ultima perioadă, ele s-au introdus și în navigația maritimă; astfel, la o parte din navele noastre se folosește radiogoniometrul automat „LODESTAR".

Recepţia semnalului se face cu un *cadru fix*. Prin însumarea tensiunii alternative induse în bobina de căutare – a cărei caracteristică directivă este ca şi a cadrului mobil, arătată în figura 26-5, la tensiunea produsă în antena auxiliară, sau prin scăderea lor, se realizează cardioida bobină de căutare-antenă auxiliară, *OABC* (fig. 26-8). Inversând cele două conexiuni ale bobinei de căutare cu radioreceptorul, se produce un defazaj de 180°, iar cardioida generată devine *OADC*; aceasta înseamnă că în loc ca tensiunile induse să se însumeze, ele se scad una din alta, iar intensitatea unui semnal, de exemplu *OE*, recepţionat pe direcţia *RO*, devine *OF*.

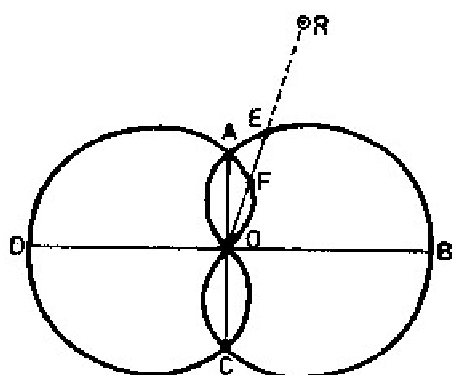


Fig. 26-8

Prin intermediul unui comutator electronic se realizează defazajul de 180° – de 400 ori în timp de o secundă. Ca urmare, semnalul se amplifică sau descreşte de 400 de ori pe secundă. După detecţie, prin aceasta se generează un curent alternativ cu o frecvenţă de 200 Hz, ce alimentează rotirea bobinei de căutare prin intermediul unui mic motor electric. Rotirea se produce în sensul *stingerii* celei mai apropiate (în fig. 26-8 aceasta este în direcţia *OA*); în această poziţie a *stingerii*, intensitatea semnalului recepţionat *OC* nu mai este afectată de inversarea conexiunilor şi astfel, după *goniometrare*, nu se mai produce curent alternativ. Motorul electric încetează a mai fi alimentat şi ***bobina de căutare rămâne orientată în poziţia stingerii OA, indicând direcţia şi sensul la emiţător.***

Selecţionarea radiofarului, şi în general a emiţătorului, se face de către operator, după frecvenţa de emisie a acestuia.

§3 Staţii de radioemisie folosite pentru determinarea poziţiei navei

Pentru determinarea punctului navei se poate releva orice staţie de radioemisie de poziţie cunoscută. Staţiile destinate special pentru asigurarea navigaţiei prin radiogoniometrare de la bord sunt *radiofarurile maritime circulare (radio beacons)*. Caracteristicile radiofarurilor sunt conţinute în *cartea radiofarurilor;* la bordul navelor noastre maritime comerciale se foloseşte publicaţia *The Admiralty List of Radio Signals* (vol. II). Aceasta indică pentru fiecare radiofar: numărul de ordine, numele, poziţia geografică, frecvenţa (*frequency*) în kHz, bătaia (*range*) în mile marine, semnalul distinctiv indicat prin litere ale alfabetului Morse, semnalul pentru radiogoniometrie – constând dintr-o linie lungă (*long dash*) de o anumită durată, pauza (*silent*) şi perioada (*period*) în secunde, reprezentând durata de emisie a

caracteristicii. De asemenea, se indică programul de lucru, celelalte radiofaruri din zona cu care este *grupat* („*grouped with...*"), precum și precizări privind eventuale sectoare în care se recomandă evitarea relevării, cu explicațiile necesare.

Banda de frecvențe atribuită radiofarurilor, prin reglementări internaționale, este cuprinsă între 285 și 325 kHz. În zone cu un trafic intens, cum este în Marea Nordului, în scopul de a se reduce perturbările reciproce, un grup de mai multe radiofaruri lucrează în aceeași frecvență, într-o anumită succesiune de lucru, astfel ca să se facă posibilă determinarea poziției navei cu mai multe relevmente radio „*simultane*". Procedeul prezintă și marele avantaj practic de a se evita *căutarea* fiecărui radiofar în parte, după frecvența sa.

Când bătaia radiofarului este dată de exemplu în forma 80/60, înseamnă că prima este pentru timpul zilei și a doua pentru timpul nopții.

Radiofarurile circulare maritime se instalează pe *nave-far* și la coastă, în poziții alese astfel ca propagarea undelor radiofar-zona navigabilă să nu fie perturbată (vezi §4) și să ofere condiții favorabile de intersecție a relevmentelor radio. Pozițiile radiofarurilor maritime sunt trecute în hărțile maritime, menționându-se totodată caracteristicile principale.

Bătaia radiofarurilor maritime este cuprinsă între 5 și aproximativ 200 Mm, funcție de destinația lor; cele folosite pentru aterizare la coastă sunt radiofaruri de bătaie mare.

Radiofarurile destinate navigației aeriene, instalate în apropierea unor aeroporturi, sunt stații de emisie pouternice, cu bătaie mare. Pozițiile și caracteristicile lor sunt conținute în *cartea radiofarurilor* (cu indicația *AR*), astfel că ele pot fi folosite cu mult succes pentru radiogoniometrare de la larg, la distanțe mari, îndeosebi când sunt instalate pe insule și, în general, în apropierea coastei. Trebuie procedat însă cu precauție atunci când acestea se află la distanțe mari de coastă, în interiorul uscatului, datorită devierilor posibile în direcția de propagare a undelor. Pozițiile acestor radiofaruri nu sunt conținute în hărțile marine, dar ele pot fi trecute folosind coordonatele geografice indicate în *cartea radiofarurilor*.

§4 Influențe deviatoare posibile asupra direcției de propagare a radioundelor de la emițător la navă

Direcția de propagare a undei de la emițător la navă poate fi supusă unor influențe deviatoare, ale căror cauze principale sunt prezentate succint în cele ce urmează.

1 Efectul de noapte (noght effect)

Pe timpul zilei, ionosfera este mai intens ionizată sub efectul razelor solare, ceea ce cauzează o atenuare evident mai mare a energiei undelor reflectate în frecvențele de emisie a radiofarurilor, decât pe timpul nopții; astfel, la distanțe de aproximativ 200 Mm, pe timpul zilei, nu se mai recepționează decât *unde directe*. În aceste condiții nu poate să apară fenomenul de *fading*, prin recepția simultană a undelor

directe și reflectate, ceea ce ar putea să facă mai dificilă reglarea *stingerii* semnalului.

Efectul de noapte poate să apară în intervalul dintre o oră înainte de apus și o oră după răsăritul Soarelui, cu intensitate maximă în timpul crepusculelor, la distanțe mai mari de 30 Mm de emițător; dacă exigența asupra preciziei relevmentelor este mai mică, practic se poate considera că efectul de noapte este neînsemnat până la distanțe de 100 Mm de emițător.

Efectul de noapte este consecința devierii câmpului magnetic al radioundei din planul lui orizontal, datorită reflexiei provocate de ionosferă, îndeosebi de *stratul E*; liniile de forță magnetică ale câmpului, în aceste condiții, deși se mențin perpendiculare pe direcția de propagare a undei, nu mai oscilează în plan orizontal. Această abatere pote să cauzeze erori apreciabile în măsurarea relevmentelor radio.

Experiența arată că aproximativ 10% din relevmentele măsurate la distanțe mai mari de 100 Mm de emițător, în intervalul de timp arătat, sunt afectate de erori mai mari de 10° datorită efectului de noapte.

Un observator experimentat poate să identifice prezența efectului de noapte, în cele mai multe cazuri, după următoarele indicii:

– deplasarea neregulată a *stingerii*, în direcție, pe timpul *căutării*, fenomen denumit *pendularea stingerii*;

– apariția fenomenului de *fading*, manifestat prin variația intensității recepției în aceeași poziție a cadrului mobil (și respectiv a bobinei de căutare la cadrul fix), ca urmare a recepției simultane a undei directe și a undei reflectate ale aceluiași semnal;

– apariția unui triunghi mare al erorilor, în cazul determinării punctului cu trei relevmente radio sau a unei suprafețe mari, corespunzătoare, închisă între relevmente intersectate, când se folosesc mai multe relevmente radio.

Când există certitudinea prezenței efectului de noapte, se impune să se aștepte până când acesta încetează, deși este posibil ca în unele condiții așteptarea să fie de durată. Dacă situația de navigație impune totuși necesitatea unor relevmente radio, se recomandă aplicarea procedeului următor: se observă relevmente limită între cele care variază *stingerea* semnalului, de un număr egal de ori într-un sens și în celălalt al pendulării *stingerii*, timp de circa 10 minute; relevmentul radio se consideră egal cu media aritmetică a observațiilor executate. Este evident că într-un asemenea caz se acordă prioritate radiofarurilor apropiate, deoarece efectul de noapte crește cu distanța la emițător.

Dat fiind perturbările pe care le poate cauza efectul de noapte în practica radiogoniometrică, s-au făcut eforturi pentru a se realiza un sistem care să elimine acest neajuns. Antena de recepție *Adcock* realizează acest deziderat, făcând ca numai componenta orizontală a câmpului magnetic al radioundei să inducă o tensiune electromotoare, eliminând astfel efectul de noapte. Dimensiunile ei pentru frecvențele folosite în radiogoniometrie sunt însă prea mari pentru uzul navelor, astfel că acestea se folosesc mai mult de stațiile de radiogoniometrie costiere (vezi § 9).

2 Alte influențe deviatoare posibile

La trecerea unei radiounde de la uscat la mare se constată o *deviere spre coastă* a acesteia, îndepărtându-se de normala la linia coastei în punctul de trecere, fenomen

denumit *efectul coastei (coast effect)* sau *refracția coasei*. Când unda este pe direcția normalei la coastă, efectul este nul; el crește pe măsură ce unghiul față de linia coastei se micșorează, atingând valori de 4–5°. Cartea radiofarurilor, atunci când este cazul, indică sectoarele în care eroarea de refracție a coastei este mare, pentru a se evita radiogoniometrarea. Eroarea scade cu cât radiofarul este mai aproape de coastă.

Radioundele pot fi deviate, de asemenea, de masele metalice (construcții, nave etc.) întâlnite pe direcția lor de propagare spre receptor. Eroarea crește cu cât distanța la emițător este mai mică; astfel, la distanța de circa 1 Mm, eroarea poate lua valori de 1–3°.

Efectele atmosferice asupra direcției de propagare a undei se manifestă îndeosebi pe timp de furtună și în condiții de descărcări electrice; astfel, în aceeași poziție a cadrului, intensitatea semnalului poate să aibă variații apreciabile sau chiar să *se stingă*.

Valoarea acestor erori nu poate fi determinată și deci o corectare a lor nu este posibilă; navigatorul trebuie să cunoască însă cauzele lor și condițiile în care pot lua valori mari, care ar face ca relevmentele radio să fie improprii utilizării în navigație.

§5 Influențe deviatoare la bordul navei. Deviația radio

1 Definirea deviației radio

Radioundele de la un emițător oarecare induc la bordul navei o tensiune electromotoare în cadrul radiogoniometrului și, simultan, într-o serie de alte mase metalice întâlnite pe direcția de propagare: corpul navei, sarturi, bigi, catarge etc. Ca urmare, toate aceste *conductoare* generează curenți alternativi slabi, care la rândul lor dau naștere la câmpuri electromagnetice de intensități reduse, comportându-se ca niște emițătoare.

Astfel, cadrul radiogoniometrului, cu centrul în O, se află sub influența concomitentă a două câmpuri electromagnetice (fig. 26-9): al radioundei provenite de la emițătorul E, al cărei câmp magnetic – reprezentat prin vectorul M_e, este perpendicular pe direcția ei de propagare; câmpul electromagnetic generat de conductoarele de la bord, al cărui câmp magnetic Mn este perpendicular pe direcția acestuia.

În aceste condiții, în momentul relevării emițătorului E, *stingerea* semnalului recepționat are loc când cadrul mobil sau respectiv bobina de căutare a cadrului fix se află orientat pe direcția câmpului magnetic rezultant, reprezentt prin vectorul M, normal la direcția OL a câmpului electromagnetic rezultant. Unghiul dintre axa longitudinală a navei și direcția OL a câmpului electromagnetic rezultant ce acționează asupra cadrului radiogoniometrului, *materializată prin direcția stingerii semnalului recepționat*, se numește *relevment prova radio, Rpr*.

Deviația radio δr este unghiul dintre direcția OL a câmpului electromagnetic rezultant ce acționează asupra cadrului radiogoniometrului și direcția la emițătorul E; ea este dată de relația algebrică:

$$\delta r = Rp - Rpr \qquad (26\text{-}2)$$

de unde:

$$Rp = Rpr + \delta r, \qquad (26\text{-}2')$$

Deci, deviația radio prezintă corecția ce trebuie aplicată algebric relevmentului prova radio măsurat, pentru obținerea relevmentului prova *Rp*.

Deviația radio variază în funcție de:

– relevmentul prova la emițător; acesta exprimă poziția maselor metalice, a conductelor de la bord, în raport cu cadrul radiogoniometrului, considerând că pozițiile lor rămân aceleași;

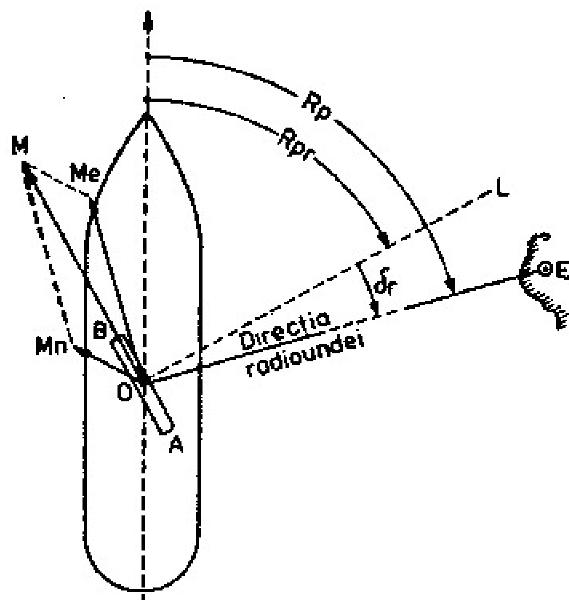


Fig. 26-9

– frecvența radioundei recepționate; deviația radio crește cu frecvența;

– pescajul navei, respectiv bordul liber, care exprimă masa operei moarte a corpului navei expusă acțiunii câmpului electromagnetic provenit de la radiofar.

Desigur, pentru același relevment prova, aceeași frecvență și același pescaj, mărimea deviației radio poate varia în funcție de poziția conductoarelor mobile de la bord: bigi, gruie etc. Balansul navei pe mare agitată sau înclinarea constantă a navei ca urmare a stării ei de încărcare poate cauza variația deviației radio datorită schimbării poziției diferitelor conductoare de la bord în raport cu cadrul radiogoniometrului. De asemenea, mărfurile cu conținut de fier, ca lingourile sau taglele de oțel, minereul de fier etc., în anumite condiții, pot influența deviația radio.

2 Ecuația deviației radio. Considerații asupra coeficienților și compensării lor

Diferitele conductoare de la bord (catarge, sarturi, bigi etc.) se comportă ca niște antene sau cadre, astfel că ele se pot grupa în:

– *conductoare de tip antenă*, constituite din elemente verticale sau oblice, legate electric la corpul navei numai în partea inferioară (catarge, coșul navei etc.) sau lipsite de o asemenea legătură (de exemplu, o porțiune de sart cuprinsă între două izolatoare);

– *conductoare de tip cadru*, formate din părți ale navei legate între ele, astfel: catarg – strai – punte (cadru longitudinal), catarg – sart – punte (cadru transversal).

Când cadrul constituie un circuit electric închis, el se numește *cadru închis* (*cadru inductiv*); dacă în exemplul dat straiul este prevăzut cu *izolatoare*, circuitul electric este întrerupt și sistemul catarg – strai – punte este un *cadru deschis* (*cadru capacitiv*).

Deviația radio, cauzată de câmpul electromagnetic al navei generat de conductoarele de la bord, are o variație periodică determinată de orientarea cadrului radiogoniometrului față de acestea, astfel că se poate considera ca o funcție periodică de relevmentul prova radio *Rpr*; ea se exprimă prin dezvoltarea în serie Fourrier:

$$\delta r = A + B \sin Rpr + C \cos Rpr + D \sin 2\,Rpr + E \cos 2\,Rpr + \ldots + K \sin 4\,Rpr + \ldots$$

numită *ecuația deviației radio*; ceilalți termeni ai seriei se neglijează, având valori neînsemnate. *A, B, C, D, E* și *K* sunt *coeficienții deviației radio*, reprezentând media valorilor maxime ale deviației produsă de anumite categorii de conductoare de la bord, în anumite relevmente prova radio (multiplu de 90° sau 45°, începând din $Rpr = 0°$).

Pentru a face posibilă aprecierea influenței pe care o au diferitele conductoare de la bord asupra cadrului radiogoniometrului, este necesară cunoașterea coeficienților deviației radio; cunoscând valoarea lor, se pot trage concluzii privind necesitatea compensării radiogoniometrului. Compensarea are scopul de a reduce valoarea deviațiilor radio și a le asigura o variaie cât mai regulată.

Coeficientul A reprezintă mărimea *deviației radio constante*, pozitivă sau negativă; se calculează din relația:

$$A = \frac{\delta r_0 + \delta r_{90} + \delta r_{180} + \delta r_{270}}{4} \qquad (26\text{-}3)$$

Coeficientul *A* poate avea cauze mecanice sau electrice. *A mecanic* este rezultatul lipsei de corespondență dintre orientarea cadrului mobil al radiogoniometrului sau respectiv a bobinei de căutare și indicele de citire a relevmentelor prova radio; când cadrul mobil (bobina de căutare a cadrului fix) este orientat în planul transversal al navei, indicele trebuie să arate $Rp = 0°(180°)$. *A mecanic* se poate corecta prin rotirea cadrului în sens invers erorii, de un unghi egal cu aceasta.

A electric este cauzat de conductoare tip cadru repartizate asimetric față de cadrul radiogoniometrului (considerat instalat în planul diametral al navei); se compensează odată cu *E*, în modul indicat mai jos.

Coeficientul B este cauzat de conductoare tip antenă, aflate în planul longitudinal al cadranului radiogoniometrului, în prova sau pupa acestuia (catarge, coșul navei, straie izolate etc.). Se calculează din relația:

$$B = \frac{\delta r_{90} - \delta r_{270}}{2} \qquad (26\text{-}4)$$

și determină *deviații radio semicirculare* de forma $\delta r = B \sin Rpr$, maxime în $Rpr = 90°$ și 270°. Dacă *B* este pozitiv, deviațiile determinate de acest coeficient sunt pozitive pentru *Rpr* cuprinse între 0°–180° și negative între 180°–360°; semnele deviațiilor sunt inverse în cele două semicercuri dacă *B* este negativ.

B ia valori mici și nu se compensează.

Coeficientul C este cauzat de conductoare tip antenă aflate în planul transversal al cadrului radiogoniometrului (sarturi izolate, pataraţine etc.). Se calculează după formula:

$$C = \frac{\delta r_0 + \delta r_{180}}{2} \qquad (26\text{-}5)$$

şi determină *deviaţii radio semicirculare* de forma $\delta r = C \cos Rpr$, maxime în $Rpr = 0°$ şi 180°. Dacă *C* este pozitiv, deviaţiile pe care le determină sunt pozitive pentru *Rpr* cuprinse între 270°–360°–90° şi negative între 90°–270°; semnele sunt inverse dacă *C* este negativ.

C este în general de valori neînsemnate sau chiar zero şi nu se compensează.

Coeficientul D este cauzat de conductoare de tip cadru, cu o orientare longitudinală sau transversală în raport cu cadrul radiogoniometrului. Acţiunea preponderentă în formarea coeficientului *D* o are conturul longitudinal al corpului navei deasupra liniei de plutire, care constituie un *cadru închis* (inductiv), putând lua valori depăşind 20°. Se calculează din formula:

$$D = \frac{\delta r_{45} + \delta r_{135} + \delta r_{225} + \delta r_{315}}{4} \qquad (26\text{-}6)$$

şi determină *deviaţii radio cuadrantale* de forma $\delta r = D \sin 2\,Rpr$, maxime în $Rpr = 45°$, 135°, 225° şi 315°. Deoarece corpul navei este un conductor de tip cadru exterior cadrului radiogoniometrului, coeficientul *D* este pozitiv, determinând deviaţii radio pozitive în *Rpr* cuprinse între 0–90°, 180–270° şi negative între 90° şi 270°–360°.

Deoarece corpul navei acţionează în formarea coeficientului *D* numai cu opera moartă, partea aflată deasupra liniei de plutire, face ca deviaţiile radio cuadrantale să aibă variaţii însemnate la navele maritime de transport în funcţie de starea de încărcare, deci de pescajul navei.

Coeficientul *D*, atunci când este cazul, se poate compensa cu două cadre fixe longitudinale de formă circulară, montate lateral la tribord şi babord faţă de cadrul radiogoniometrului; acesta deci acţionează în interiorul câmpurilor celor două cadre de compensare. Intensitatea celor două câmpuri se reglează prin scurtcircuitarea a mai multor sau mai puţine spire, în interiorul cadrelor de compensare, funcţie de mărimea coeficientului *D*.

Coeficientul E are aceleaşi cauze ca şi *A electric*, fiind cauzat de conductoare tip cadru aflate la cca 45° faţă de cadrul radiogoniometrului, în raport cu planul diametral al navei. Se calculează cu formula:

$$E = \frac{\delta r_0 + \delta r_{90} + \delta r_{180} + \delta r_{270}}{4} \qquad (26\text{-}7)$$

şi determină *deviaţii radio cuadrantale* de forma $\delta r = E \cos 2\,Rpr$, maxime în $Rpr = 0°$, 180° şi 270°. Acest coeficient ia în general valori mici şi se compensează odată cu *A electric* (făcându-se suma algebrică $A + E$), prin rotirea cadrelor de compensare a coeficientului *D* din planul longitudinal al navei, astfel: spre dreapta, dacă suma $A + D$ este negativă şi spre stânga, dacă $A + E$ este pozitivă.

Coeficientul K însoţeşte apariţia coeficientului *D* şi se compensează odată cu acesta. Se calculează din relaţia:

$$\sin K = \frac{\sin^2 D}{2} \qquad (26\text{-}8)$$

şi determină *deviaţii radio octantale* de forma $\delta r = K \sin 4\,Rpr$, maxime în $Rpr = 22°.5$, 67°.5, 112°.5, 157°.5, 202°.5, 247°.5, 292°.5 şi 337°.5.

În cele arătate mai sus, cadrul radiogoniometrului s-a considerat în planul diametral al navei.

Compensarea radiogoniometrului se efectuează la intrarea în exploatare a navei, după terminarea construcției și atunci când coeficienții (*D*, în special) iau valori mari. Această operațiune, ca și *determinarea deviațiilor radio („etalonarea radiogoniometrului")* se execută de specialiști autorizați; indicațiile date mai sus se limitează la scopul de a orienta doar pe navigator asupra cauzelor deviațiilor radio și modul principal de compensare.

4 Procedee pentru determinarea deviațiilor radio („etalonarea radiogoniometrului")

Deviațiile radio se determină prin procedee care se bazează pe măsurarea simultană la emițător a relevmentului prova *Rp*, vizual cu alidada la un cerc azimutal și relevmentul prova radio *Rpr*, la radiogoniometru; calculul lor se face din relația (26-2): $\delta r = Rp - Rpr$.

În vederea determinării deviațiilor radio, nava trebuie pregătită în stare normală de mare: instalațiile mobile (bigi, gruie etc.) și manevrele curente de sârmă (sârme de siguranță, bigi etc.) se fixează la posturile lor. Antenele de la bord se deconectează. Se citesc pescajele prova și pupa. Se pregătește *foaia de observații.*

Operațiunea se execută în frecvența de lucru a radiofarurilor, cu nava încărcată la marcă, având la bord mărfuri care să nu aibă influențe asupra deviațiilor radio.

Pentru precizia operației, se impune ca pe timpul observațiilor, între navă și emițător să se asigure o distanță de cel puțin:

– 5 ori lungimea de undă în care se emite;

– 200 ori distanța orizontală dintre cadrul radiogoniometrului și alidada de la care se măsoară relevmentele prova vizuale la emițător. În acest fel, eroarea de paralaxă, adică unghiul sub care se vede această distanță de la emițător, este mai mică de 0°.3. Pentru ca această eroare să fie minimă, la navele maritime comerciale, se recomandă folosirea alidadei (și cercului azimutal) al compasului etalon, care de regulă este cel mai apropiat de cadrul radiogoniometrului.

Se folosesc două procedee principale pentru determinarea deviațiilor radio: *prin girrea navei și relevarea unui emițător fix; prin ancorarea navei și relevarea unui emițător mobil.*

A *Determinarea deviațiilor radio prin girarea navei și relevarea unui emițător fix*

Emițătorul transmite un semnal continuu pe frecvența stabilită; acesta poate fi un radiofar, cu care se convine un anumit program de lucru în vederea executării operației sau stația de radiotelegrafic a unei nave ancorate.

Nava care execută determinarea deviațiilor radio se plasează într-o poziție adecvată față de emițător, având-se în vedere condițiile de distanță minimă și de propagare favorabilă a radioundelor. Se execută o girație lentă și, din 10 în 10°, se măsoară la emițător relevmentul prova radio *Rpr*, la radiogoniometru și simultan relevmentul prova *Rp*, vizual la alidadă.

Executarea observațiilor este condusă de către operatorul de la radiogoniometru; acesta anunță *Rpr*, multiplu de 10°, care urmează („urmează... grade"), „atenție!",

când se apropie *stingerea* de *Rpr* anunţat şi „stop!", în momentul *stingerii* semnalului recepţionat.

La „stop!", observatorul de la alidadă măsoară *Rp* la emiţător, pe care îl comunică pentru a fi înscris în *foaia de observaţii;* la „atenţie!", acest observator vizează antena emiţătorului, pe care o menţine în alidadă până la comunicarea „stop!", moment în care face citirea relevmentului prova *Rp*.

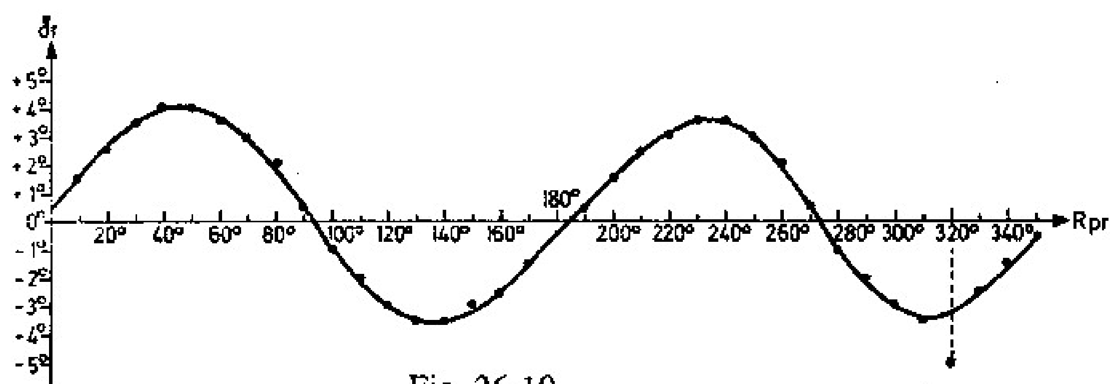


Fig. 26-10

Se calculează deviaţiile radio, din observaţiile înscrise în foaia de observaţii, aplicând relaţia (26-2): $\delta r = Rp - Rpr$; valorile obţinute se trec într-un sistem de axe rectangulare, ca ordonate, la o scară grafică adecvată, după ce pe axa absciselor se trec *Rpr*, din 10 în 10° (fig. 26-10); precizia este satisfăcătoare dacă se consideră scara grafică: 1 cm 10° *Rpr*, pe axa absciselor şi 1 cm = 1° deviaţie radio, pe axa ordonatelor.

Se trasează curba deviaţiilor radio, unind vârful ordonatelor (marcat prin puncte), de o formă armonică cât mai regulată, cu următoarele recomandări: nu se iau în consideraîie punctele din grafic care apar ca rezultat al unor observaţii eronate (în exemplul de mai jos, $\delta r = -5°$ pentru $Rpr = 320°$); se completează curba deviaţiilor, funcţie de variaţia armonică normală a curbei, pentru eventualele zone ale acesteia în care observaţiile nu au putut fi executate (când emiţătorul a fost „mascat" pentru observatorul de la elidadă într-un anumit *Rp* – de părţi ale navei sau radiogoniometrarea nu s-a putut executa într-un anumit *Rpr*).

Se întocmeşte *tabela deviaţiilor radio* pentru *Rpr* de la 0° la 350°, din 10 în 10° (tabelul 26-1); deviaţiile sunt reprezentate de ordonatele curbei (fig. 26-10), pentru *Rpr* multiplu de 10°.

Acesta este procedeul principal folosit în navigaţie pentru determinarea deviaţiilor radio. Potrivit prevederilor *Convenţiei internaţionale pentru ocrotirea vieţii umane pe mare*, această operaţie trebuie efectuată anual şi constituie o condiţie pentru eliberarea *certificatului de siguranţă radiotelegrafică* pentru navele care efectuează călătorii internaţionale.

Pe timpul navigaţiei, de câte ori este posibilă relevarea simultană vizuală şi radiogoniometrică a unui emiţător, se recomandă a se proceda la efectuarea *controlului deviaţiei radio*, folosind relaţia de calcul (26-2): $\delta r = Rp - Rpr$; asemenea ocazii se oferă frecvent în zonele cu radiofaruri instalate pe nave-far, faţă de care se navigă la distanţă mică, cu posibilitatea unor observaţii precise.

De câte ori se constată diferenţe mai mari de ±1° faţă de deviaţiile radio conţinute în *tabelă*, se recomandă a se efectua o nouă etalonare a radiogoniometrului; aceeaşi operaţiune se impune de câte ori se aduc modificări la instalaţiile de la bord (montări de noi antene în apropierea cadrului etc.), capabile să influenţeze deviaţiile radio.

Exemplu. Se determină deviațiile radio prin relevarea radiofarului Constanța.

FOAIE DE OBSERVAȚII

– Nava:
– Data............; locul............
– Emițător ....; frecvența............

– Pescaj prova:
– Pescaj pupa:
– Marfa la bord:

Rpr.	*Rp*	*δr*	*Rpr*	*Rp*	*δr*
0°	0°.5	+0°.5	180°	179°.5	–0°.5
10	11.5	+1.5	190	190.5	+0.5
20	22.5	+2.5	200	201.5	+1.5
⋮			⋮		
170°	168°.5	–1°.5	350°	349°.5	–0°.5

Tabela deviațiilor radio

TABELUL 26-1

Rpr	*δr*	*Rp*	*Rpr*	*δr*	*Rp*	Observații
0°	+0°.5	0°.5	180°	–0°.5	179°.5	
10	+1.5	11.5	190	+0.5	190.5	
20	+2.5	22.5	200	+1.5	201.5	
30	+3.4	33.4	⋮			
40	+3.9	43.9	⋮			
50	+4.0	54.0	⋮			
60	+3.5	63.5	⋮			
70	+3.0	73.0	⋮			
⋮			⋮			
110	–2.0	108.0	⋮			
⋮			320	–3.3	316.7	
⋮			⋮			
170°	–1°.5	168°.5	350°	–0°.5	349°.5	

B Determinarea deviațiilor prin ancorarea navei și relevarea unui emițător mobil

Procedeul se aplică de regulă la navele mari, acolo unde condițiile locale nu permit aplicarea metodei descrisă mai sus la punctul *A*.

Nava care execută determinarea deviațiilor radio ancorează. Un remorcher sau o altă ambarcațiune prevăzută cu un radioemițător execută un rondou larg în jurul navei ancorate, respectând condiția de distanță arătată mai sus.

Se urmărește variația relevmentului la emițător, și, din 10 în 10°, se măsoară *Rpr* la acesta, la radiogoniometru și simultan, *Rp* vizual la alidadă; în continuare, calculul deviațiilor radio, trasarea curbei și întocmirea tabelei se fac în modul descris mai sus.

Acest procedeu, de exemplu, a fost aplicat pentru etalonarea radiogoniometrelor de pe navele noastre construite în șantierele japoneze, cu ocazia probelor de recepție.

5 Precauții necesare

Pentru a elimina efectul perturbator al anumitor conductoare de la bord (sarturi, pataraține etc.), aflate în apropierea cadrului radiogoniometrului, acestea pot fi electric întrerupte prin interpunerea unor izolatoare. Operațiunea trebuie efectuată înainte de etalonarea radiogoniometrului.

La navele la care capetele sarturilor, straiurilor sau pataraținelor sunt fixate pe rodanțe („ochi de cioară") prin matisire, trebuie acordată atenție; sunt șantiere care, înainte de a trage gașa matisită pe rodanță, o patronează cu merlin. Stratul de merlin astfel interpus poate constitui un izolator electric, când acesta este uscat sau poate avea o conductivitate variabilă, funcție de starea de umezeală. Deci cadrul pe care acesta îl formează împreună cu catargul (coloana) și puntea, poate acționa ca un cadru deschis (capacitiv) sau închis (inductiv), cu o conductivitate variabilă, fapt care poate cauza erori apreciabile în determinarea relevmentelor radio. De aceea se impune ca gașele acestora să fie patronate cu sârmă sau, în caz că se folosește merlinul, să se patroneze numai matiseala, astfel ca legătura să formeze un cadru permanent închis, cu o conductivitate constantă.

În călătoriile din zonele calde, pe timpul staționărilor în porturi și rade, deseori se întind tenzile la puntea de comandă și la unele nave chiar deasupra punții etalon. La plecarea în mare, odată cu strângerea tenzilor se impune demontarea tendarelor și a străjilor (sârmele folosite pentru legarea tenzilor), deoarece acestea sunt capabile să provoace deviații radio de valori apreciabile.

Pentru a evita efectele perturbatoare, diferitele părți ale instalației radar, și îndeosebi modulatorul, nu trebuie să fie montate la o distanță mai mică de 6 m de cadrul radiogoniometrului său de cablul de conexiune a acestuia cu radioreceptorul (la cele cu cadru fix).

Toate antenele de la bord și îndeosebi cele ale stației de radiotelegrafie trebuie să fie deconectate de la pământ pe timpul radiogoniometrării; pentru a evita neglijarea acestei importante precauții, se recomandă folosirea comutatoarelor de antenă de tipul care, la conectarea radiogoniometrului, deconectează simultan antena navei.

Antenele aparatelor de radiorecepție ale echipajului, aflate în apropierea cadrului radiogoniometrului și nelegate la pământ, pot provoca de asemenea erori. Pentru evitarea acestora se recomandă sistemul de antenă comună, cu posibilitatea deconectării pe timpul radiogoniometrării.

Când se navigă în condiții de mare agitată, schimbarea continuă a poziției conductoarelor de la bord față de cadrul radiogoniometrului, datorită balansului navei, poate provoca deviații radio considerabile, a căror variație nu este controlabilă. În asemenea situații soluția nu poate fi așteptată decât de la operator: de îndată ce s-a realizat orientarea cadrului mobil (bobinei de căutare) în poziția de *stingere* a semnalului, *se impune menținerea cu atenție a stingerii până în momentul când nava ajunge în poziție orizontală, când se procedează rapid la citirea relevmentului prova radio și simultan a drumului compas.* Calea spre această artă este antrenamentul.

§6 Determinarea punctului navei cu relevmente radio măsurate la bord

1 Relevmentul radio

Considerăm că de la bordul navei aflată în punctul Z se măsoară relevmentul prova radio Rpr la radiofarul F, deviaţia radio fiind δr (fig. 26-11); se presupune că distanța ZF este mică. Relevmentul prova Rp la F se obţine din relaţia (26-2):

$Rp = Rpr + \delta r$.

Dacă simultan cu măsurarea Rpr la F se citeşte drumul compas Dc la compasul magnetic sau Dg la girocompas, rezultă că *relevmentul radio* Rr este dat de relaţia:

$$Rp = Rpr + \delta r + Dc + \Delta c \qquad (26\text{-}9)$$

sau respectiv:

$$Rr = Rpr + \delta r + Dg + \Delta g \qquad (26\text{-}10)$$

Relevmentul radio Rr este deci unghiul dintre direcţia nord adevărat şi direcţia la radiofar.

Dacă la sistemul de citire a unghiurilor măsurate cu radiogoniometrul este prevăzut şi un repetitor al girocompasului, se poate proceda astfel:

– se citeşte relevmentul radio Rg la repetitorul girocompasului şi simultan Rpr, la cercul azimutal;

– *se scoate* δr *în funcţie de* Rpr.

În acest caz, relevmentul radio la F poate fi obţinut din relaţia:

$$Rr = Rg + \delta r = \Delta g \qquad (26\text{-}11)$$

Radioundele emise de radiofarul F şi recepţionate în Z se propagă pe drumul cel mai scurt FZ, care pe sfera terestră este un arc de cerc mare.

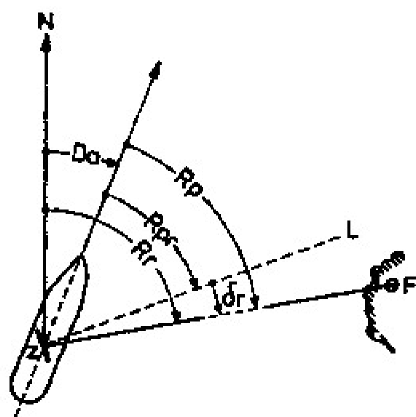


Fig. 26-11

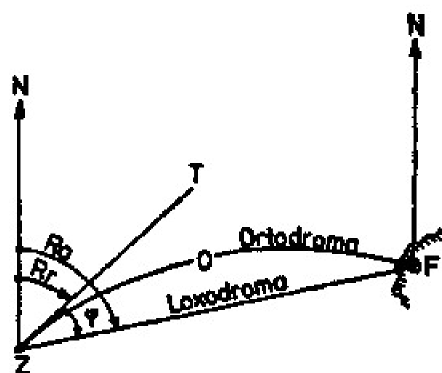


Fig. 26-12

Să reprezentăm acum cele arătate mai sus pe o hartă marină, în proiecţie Mercator (fig. 26-12), considerând că nava aflată în Z este la distanţă relativ mare de radiofarul F.

Ortodroma FOZ, având concavitatea spre ecuator, arată drumul parcurs de radioundă pe sfera terestră de la radiofar la cadrul radiogoniometrului, în proiecţie

Mercator. Relevmentul radio *Rr* la radiofar este deci un *relevment ortodromic*, reprezentat de unghiul măsurat între direcția nord adevărat și tangenta în punctul navei la ortodroma de-a lungul căreia se propagă unda de la radiofar la navă; în exemplul dat, $Rr = \sphericalangle NZT$.

Dreapta *FZ* reprezintă loxodroma care leagă poziția navei cu a radiofarului, în proiecție Mercator.

Unghiul *TZF* cu vârful în punctul navei, format între tangenta la ortodromă și loxodromă, se numește *corecție ortodromică* ψ sau *corecția Givry;* cunoașterea acesteia permite transformarea relevmentului radio *Rr, ca relevment ortodromic, în relevment loxodromic* Ra la radiofar, folosind relația algebrică:

$$Ra = Rr + \psi \qquad (26\text{-}12)$$

2 Coreția ortodromică

Considerăm corecția ortodromică ψ formată în punctul navei *Z* și ψ_1, în poziția radiofarului *F*, între loxodroma *ZF* și tangentele la ortodromă în cele două puncte (fig. 26-13 *a*).

Figura 26-13 *a* arată că $\psi + \psi_1 = \sphericalangle TCF = \sphericalangle NCF - \sphericalangle NCT$; însă $\sphericalangle NCT = Rr$ și $\sphericalangle NCF = Rr_1$, Rr și Rr_1 fiind unghiurile formate prin intersecția ortodromei cu meridianele punctelor Z și *F*, deci:

$$\psi + \psi_1 = Rr_1 - Rr.$$

Deoarece în practica navigației radiogoniometrice distanța de la navă la radiofar nu depășește 200 Mm, în aceste limite se poate considera că arcul ortodromic *ZF* are o curbură constantă și că se confundă cu un arc de cerc, astfel că $\psi = \psi_1$, deci:

$$2\psi = Rr_1 - Rr$$

sau:

$$\psi = \frac{Rr_1 - Rr}{2}$$

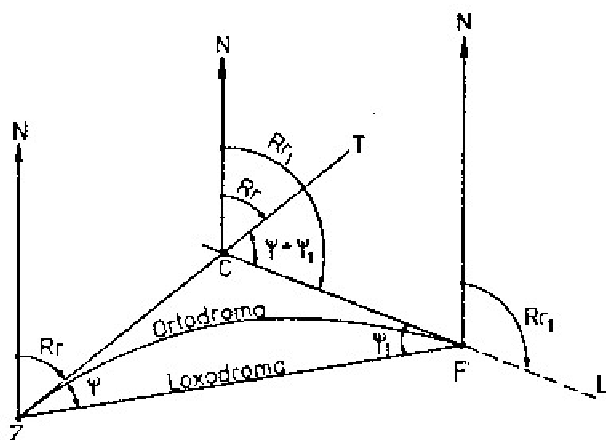


Fig. 26-13 a

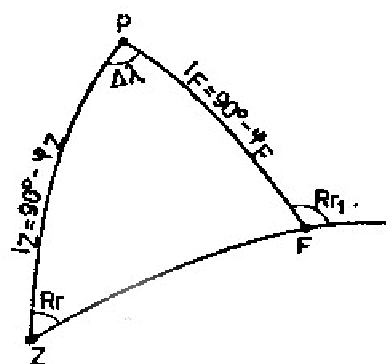


Fig. 26-13 b

Diferența $Rr_1 - Rr$ poate fi determinată prin rezolvarea triunghiului sferic *PZF* de pe sfera terestră, care are vârfurile în punctul navei Z, poziția radiofarului *F* și polul geografic al emisferei în care se află primele două (fig. 26-13 *b*). Pe sfera terestră, diferența $Rr_1 - Rr$ mai este numită și *convergența meridianelor*, iar corecția ortodromică ψ și *semiconvergența meridianelor*.

În triunghiul sferic PZF, unghiul ZPF este egal cu diferența $\Delta\lambda$ a longitudinilor punctelor Z și F, iar latura $\widehat{ZP}$ este egală egală cu colatitudinea punctului navei l_z și $\widehat{FP} = l_F$; aplicând una din analogiile lui Napier:

$$\mathrm{tg}\frac{180^\circ - Rr_1 + Rr}{2} = \frac{\cos\dfrac{l_Z - l_F}{2}}{\cos\dfrac{l_Z + l_F}{2}}\mathrm{ctg}\frac{\Delta\lambda}{2}$$

și făcând înlocuirile:

$l_Z = 90^\circ - \varphi_Z$; $l_F = 90^\circ - \varphi_F$; $\varphi_F - \varphi_Z = \Delta\varphi$; $\dfrac{\varphi Z + \varphi F}{2} = \varphi_m$,

se obține:

$$\mathrm{tg}\left(90^\circ - \frac{Rr + Rr}{2}\right) = \frac{\cos\dfrac{\Delta\varphi}{2}}{\sin\varphi m}\mathrm{ctg}\frac{\Delta\lambda}{2}$$

și răsturnând egalitatea:

$$\mathrm{tg}\frac{R_{r1} - Rr}{2} = \sin\varphi_m \sec\frac{\Delta\varphi}{2}\mathrm{tg}\frac{\Delta\lambda}{2}$$

de unde

$$\mathrm{tg}\,\psi = \sin\varphi_m \sec\frac{\Delta\varphi}{2}\mathrm{tg}\frac{\Delta\lambda}{2} \qquad (26\text{-}13)$$

Pentru distanțe relativ mici între navă și radiofar, $\dfrac{\Delta\lambda}{2}$ ia valori care permit substituirea tg ψ și tg $\dfrac{\Delta\lambda}{2}$ prin însăși măsura arcelor, iar sec $\dfrac{\Delta\varphi}{2} = 1$. Astfel, formula folosită în navigația radiogoniometrică pentru calculul corecției ortodromice devine:

$$\psi = \frac{\Delta\lambda}{2}\sin\varphi_m \qquad \varphi m\ (26\text{-}14)$$

Formula (26-14) arată că, corecția ortodromică este zero când nava și radiofarul sunt pe același meridian ($\Delta\lambda = 0^\circ$) și când acestea se află pe ecuator ($\varphi_m = 0^\circ$); și când acestea se află pe ecuator ($\varphi_m = 0^\circ$): valoarea ei crește cu latitudinea medie și diferența de longitudine navă-radiofar.

Coordonatele poziției navei folosite pentru calculul lui ψ sunt cele ale punctului estimat.

În navigație, corecția ortodromică ψ se calculează la precizie de 0°.1, prin*:

– rezolvarea formulei (26-14), înmulțind $\dfrac{\Delta\lambda}{2}$ în grade (la precizie de 0°.1) cu valoarea naturală sin φ_m;

– *cu tabla 23(MT-53)*, intrându-se cu argumentele $\Delta\lambda$ și φ_m.

---

* O determinare expeditivă a corecției ortodromice se realizează și prin folosirea *Diagram to convert radio great circle bearings to Mercatorial bearings* (Diagrama pentru convertirea relevmentelor ortodromice în relevmente loxodromice), redată în *Brown's Nautical Almanac* la capitolul *„Radio bearings"* (Relevmente radio).

Semnul corecției ortodromice pentru rezolvarea formulei (26-12), în scopul convertirii relevmentelor radio *Rr* în relevmente loxodromice *Ra*, este condiționat de poziția radiofarului față de navă și emisfera geografică unde acestea se află. Pentru ilustrarea regulei semnelor, considerăm un radiofar F_N în emisfera nordică și altul F_S, în emisfera sudică; fiecare radiofar este relevat de două nave, una aflată la est și cealaltă la vest de acesta (fig. 26-14). Relevmentele radio *Rr* și cele loxodromice *Ra* la F_N și F_S observate de cele patru nave, din pozițiile *A*, *B*, *C*, *G*, se trasează pe o hartă marină în proiecție Mercator; ortodromele de-a lungul cărora se propagă undele de la radiofaruri la nave sunt reprezentate în proiecție Mercator prin niște *curbe cu concavitatea spre ecuator.*

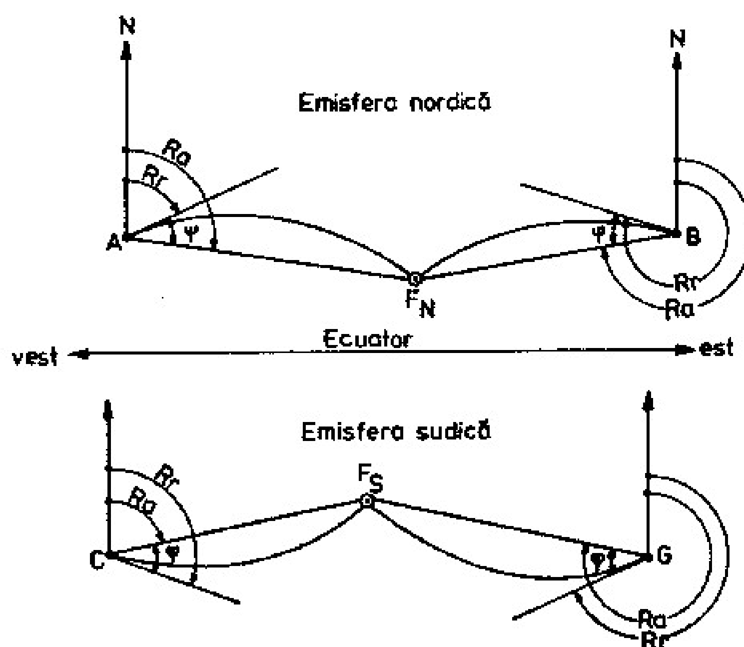


Fig. 26-14

Figura 26-14 arată că pentru a converti relevmentul radio *Rr* la radiofar în relevment loxodromic *Ra*, corecției ortodromice trebuie să i se dea următorul semn:

a – dacă nava și radiofarul se află în emisfera nordică:

– *plus*, când radiofarul se află la est de navă (poziția *A*);

– *minus*, dacă radiofarul se află la vest de navă (poziția *B*);

b – când nava și radiofarul se găsesc în emisfera sudică, regula semnelor se inversează.

3 Dreapta de poziție radio și trasarea ei pe harta Mercator

Linia de poziție determinată de un relevment vizual la un reper de navigaîie sau de un relevment radio la un radiofar este o *curbă de egal relevment* numită și *izoazimutală*. Astfel, o serie de observatori care măsoară același relevment radio *Rr* la radiofarul *F* se află pe izoazimutala care trece prin *F*, pozițiile observatorilor *Z*, Z_1, Z_2 etc. și polul geografic *P* al emisferei respective (fig. 26-15).

Izoazimutala este deci locul geometric al punctelor de pe care un emițător se observă în același relevment radio *Rr*, format între direcția nord și ortodroma de-a lungul căreia se propagă radiounda de la emițător la cadrul radiogoniometrului.

Figura 26-16 reprezintă cele trei curbe, ortodroma, loxodroma şi izoazimutala, care leagă pe sfera terestră poziţia observatorului *Z* cu a radiofarului *F*, în proiecţie Mercator. Se observă că izoazimutala este reprezentată printr-o curbă cu concavitatea spre pol.

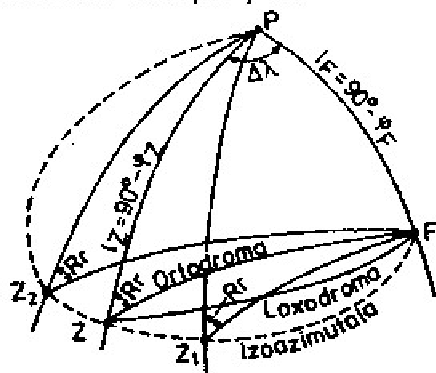


Fig. 26-15

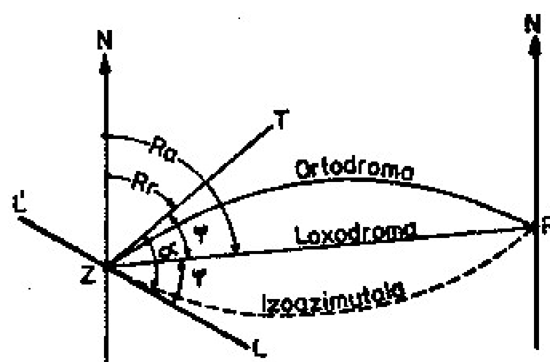


Fig. 26-16

La distanţele maxime pe care le poate acoperi bătaia radiofarurilor maritime, izoazimutala poate fi considerată simetrică cu ortodroma în raport cu loxodroma, iar unghiul dintre ele $TZL = 2\psi = \alpha$, egal cu *convergenţa meridianelor* punctelor *Z* şi *F*, deci:

$$\alpha = 2\psi = \Delta\lambda \sin \varphi m \qquad (26\text{-}15)$$

unde: $\Delta\lambda = \lambda_Z$ şi $\varphi m = \dfrac{\varphi Z + \varphi F}{2}$.

În cazul relevmentelor vizuale la reperele costiere de navigaţie, când distanţa dintre observator şi acestea este mică, s-a considerat că ortodroma şi izoazimutala se confundă cu loxodroma, iar *dreapta de relevment* este aceeaşi cu dreapta loxodromică din harta Mercator ce leagă observatorul cu reperul considerat.

În navigaţia radiogoniometrică, distanţa dintre navă şi radiofar este în mod frecvent sub 80 de Mm şi în situaţii deosebite până la 150–200 Mm. Precizia *punctului radio* obţinut prin intersecţia unor relevmente radio este mai mică decât a *punctului costier;* de aceea, în navigaţia din apropierea coastei se face uz de relevmente radio numai în condiţii de vizibilitate redusă sau în caz de vizibilitate bună, la distanţe mai mari decât bătaia farurilor din zonă.

Ca urmare, în practica navigaţiei radiogoniometrice, la trasarea relevmentelor radio pe harta Mercator pentru determinarea punctului navei se disting trei cazuri:

– diferenţa de longitudine navă-radiofar este mai mică de 2°;

– corecţia ortodromică ia valori de la 1 la 2°;

– corecţia ortodromică este mai mare de 2°.

Cazul I: convertirea şi trasarea relevmentelor radio pe harta Mercator când $\Delta\lambda < 2°$.

Când diferenţa de longitudine dintre navă şi radiofar este mai mică de 2°, caz care reprezintă situaţia frecventă în practica navigaţiei radiogoniometrice, corecţia ortodromică ψ este 0°.5 la $\varphi m = 30°$, 0°.7 la $\varphi m = 45°$ şi 0°.9 la $\varphi m = 66°$; rezultă că în acest caz $\psi < 1°$. De aceea, în navigaţie, când $\Delta\lambda$ navăradiofar este mai mică de

2°, se consideră că practic cele trei curbe – izoazimutala, ortodrama și loxodroma – se confundă (ca și în cazul relevmentelor vizuale în navigația costieră) și relevmentului radio Rr se trasează pe hartă ca o dreaptă de relevment loxodromic, prin poziția farului.

Convertirea relevmentului prova radio Rpr sau a relevmentului radio Rg citit la un repetitor al girocompasului se face prin aplicarea relațiilor (26-9) și (26-11).

Exemplul 1. Se măsoară $Rpr = 34°.5$ la radiofarul Quessant și simultan $Dc = 26°$; $\Delta c = +3°.5$; δr din tabelul (26-1). $\Delta\lambda$ navă-radiofar –25'. Se cere relevmentul loxodromic Ra care urmează a fi trasat pe hartă.

Rezolvare:

$Rpr = 34°.5$	$Dc = 26°$
$+\delta r = +3.6$	$+\Delta c = +3°.5$
$Rp = 38.1$	$Da = 29°.5$
$+Da = 29°5$	
$Rr = 67°.6 = Ra$	

Exemplul 2. Se măsoară la radiofarul Spartel $Rg = 162°$, $Rpr = 66°$, $\Delta g = -0°.5$. Deviația radio din tabelul 26-1; diferența de longitudine navă-radiofar $\Delta\lambda = -52'$. Se cere relevmentul loxodromic Ra care urmează a fi trasat pe hartă.

Rezolvare:

$Rg = 162°$
$+\delta r = +3.2$ din tabelul 26-1 în funcție de Rpr
$R'g = 165.2$
$+\Delta g = -0.5$
$Rr = 164°.7 = Ra$

Relevmentul loxodromic Ra astfel calculat se trasează pe hartă ca dreaptă de relevment prin poziția radiofarului.

Cazul II: convertirea și trasarea relevmentelor radio pe harta Mercator când ψ ia valori de la 1 la 2°.

Când corecția ortodromică, în valoare absolută, determinată în baza formulei (26-14), ia valori cuprinse între 1–2°, relevmentul radio Rr se transformă în relevment loxodromic Ra prin aplicarea relației (26-12): $Ra = Rr + \psi$; acesta se trasează pe hartă prin poziția radiofarului. În acest caz deci, la precizia pe care o oferă punctul radio la asemenea distanțe navă-radiofar, capabile ca funcție de $\Delta\lambda$ și φ_m să determine valori ale corecției ortodromice de la 1 la 2°, se consideră practic că *izoazimutala ce trece prin cele două puncte se confundă cu loxodroma.*

Prin însumarea relațiilor (26-9) și (26-12) și respectiv (26-10) cu (26-12) rezultă că relevmentul loxodromic Ra în acest caz se obține din:

$$Ra = Rpr + \delta r + Dc + \Delta c + \psi \quad (26\text{-}16)$$

$$Ra = Rpr + \delta r + Dg + \Delta g + \psi \quad (26\text{-}16)$$

și

$$Ra = Rg + \delta r + \Delta g + \psi \quad (26\text{-}18)$$

dacă citirea relevmentului radio s-a făcut la un repetitor al girocompasului (relațiile 26-11 și 26-12).

Exemplul 3. Din punctul estimat $\varphi e = 44°02'$ N; $\lambda = 28°38'$ E se măsoară $Rpr = 110°$ la radiofarul Constanța (de poziție $\varphi = 44°10'$ N; $\lambda = 28°38'$ E); simultan se citește $Dc = 182°$; $\Delta c = +2°.6$. Se cere relevmentul loxodromic *Ra* ce urmează a fi trecut pe hartă.

Rezolvare:

a – **Calculul lui Δλ și φm**

Calculul lui Δλ	Calculul lui φm
$\lambda e = +31°42'$	$\varphi e = +44°02'$
$-\lambda = +28\ 38$	$+\varphi = +44\ 10$
$\Delta\lambda = +3°04'$	$2\varphi m = +88°12'$
$\frac{\Delta\lambda}{2} = 92'$	$\varphi m = +44°06'$

b – Calculul corecției ortodromice ψ

$$\psi = \frac{\Delta\lambda}{2} \sin \varphi m = 1°.5 \times 0.70 = -1°1.$$

Corecția ψ este negativă pentru că radiofarul este la vest față de navă și ambele se află în emisfera nordică.

Valoarea corecției ortodromice poate fi calculată mai expeditiv cu *diagrama pentru convertirea relevmentelor ortodromice în relevmente loxodromice* din BNA sau cu *tabla 23 (MT-53).*

c – **Calculul lui** ***Ra***

$Rpr = 110°$
$+\delta r = -2$ ... din tabelul (26-1)
$Rp = 108$
$+Da = 184.6$
$Rr = 292.6$
$+\psi = -1.1$
$Ra = 291°.5$

$Dc = 182°$
$+\Delta c = +2.6$
$Da = 184°.6$

Exemplul 4. Se dau aceleași date ca la exemplul 3; relevmentul se citește la repetitorul girocompasului, $Rg = 295°$; $Rpr = 110°$; $\Delta g = -0°.4$.

Rezolvare:

$Rg = 295°$
$+\delta r = -2$ ... din tabelul (26-1) în funcție de *Rpr*
$R'g = 293$
$+\Delta g = -0.4$
$Rr = 292.6$
$+\psi = -1.1$
$Ra = 291°.5$

Dreapta de poziție radio este reprezentată de dreapta de relevment determinată de $Ra = 291°.5$ trasată prin radiofarul Constanța.

Cazul III: convertirea și trasarea relevmentelor radio pe harta Mercator când $\psi > 2°$.

Când corecția ortodromică este mai mare de 2°, nu se mai poate ignora diferența dintre loxodromă și izoazimutală; dreapta de poziție radio în acest caz se trasează pe hartă astfel:

– relevmentul radio măsurat la radiofar se transformă în relevment loxodromic *Ra*, în modul arătat mai sus (prin aplicarea uneia din formulele 26-16, 26-17 sau 26-18, în funcție de felul în care se execută observația). Cu relevmentul loxodromic *Ra* calculat se trasează dreapta de relevment *PF* (fig. 26-17);

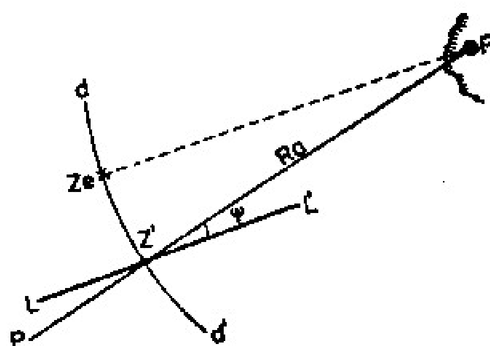


Fig. 26–17

– se determină punctul estimat *Ze* al navei pentru momentul observației. Cu centrul în radiofarul *F* și cu o rază egală cu distanța *ZeF* se trasează arcul cercului de distanță estimată *dd'*; intersecția *Z'* a acestuia cu relevmentul loxodromic *Ra* trasat prin *F* se consideră *punctul determinativ al dreptei de poziție radio;*

– se trasează *dreapta de poziție radio LL'* prin punctul determinativ *Z'*, astfel ca să formeze cu loxodroma *Z'F* un unghi egal cu corecția ortodromică ψ. Pentru trasarea dreptei de poziție radio, *corecția ortrodomică se aplică întotdeauna spre ecuator față de loxodromă.*

Dreapta de poziție radio *LL'* astfel trasată reprezintă tangenta la izoazimutală în punctul determinativ; ea formează cu loxodroma *Z'F* un unghi egal cu corecția ortodromică ψ, iar cu ortodroma un unghi egal cu convergența meridianelor $\alpha = 2\psi$ (vezi fig. 26–16).

Precizia procedeului este condiționată desigur și de precizia estimei. Acest caz apare însă foarte rar în navigație, practic doar la latitudini mari.

4 Determinarea punctului navei cu relevmente radio

Punctul navei se determină prin intersectarea a două sau mai multe drepte de poziție radio, care se trasează pe harta Mercator în modul arătat mai sus. Criteriile pentru alegerea radiofaurilor privind unghiurile dintre relevementele radio, precum și procedeele grafice de lucru pe hartă pentru determinarea punctului navei sunt aceleași ca și în navigația costieră (vezi cap. 19 și 11).

Relevmentele radio pentru determinarea punctului navei pot fi *simultane* sau *succesive*. Observațiile *simultane* radio sunt practic posibile în zonele cu *grupuri de radiofaruri*, care lucrează în aceeași frecvență; dacă spațiul parcurs de navă între observații nu permite aplicarea procedeului relevmentelor *simultane*, acestea vor fi *reduse la momentul uneia din observații.*

În momentul măsurării relevmentelor radio, se citesc ora bordului şi lochul. *Punctul radio*, obţinut prin intersecţia a două sau mai multe drepte de poziţie radio, se înseamnă pe hartă printr-un mic romb care închide punctul de intersecţie; în dreptul acestuia se notează sub formă de fracţie – ora la numărător, la precizie de minut şi citirea la loch, la precizie de cablu, la numitor.

Precizia dreptei de poziţie radio depinde de:

– precizia măsurării relevmentelor radio;

– acurateţea convertirii relevmentului radio, care este funcţie de precizia cunoaşterii deviaţiei radio şi a corecţiei compasului;

– influenţele deviatoare produse asupra direcţiei de propagare a radioundelor de la radiofar la navă;

– distanţa navă-radiofar. Eroarea liniară corespunzătoare unei erori unghiulare creşte cu distanţa navă-radiofar. De aceea, atunci când condiţiile permit, se va acorda prioritate relevării radiofarurilor mai apropiate de navă.

Experimentările efectuate au arătat că circa 95% din relevmentele radio sunt afectate de erori mai mici de 3°, dacă direcţia de propagare a undei nu este influenţată de *efectul de noapte* sau de *efectul coastei.*

Când corecţia compasului nu este cunoscută cu precizie, fiind afectată de o eroare constantă, se recomandă aplicarea procedeului de determinare a punctului cu două unghiuri orizontale, obţinute din diferenţa relevmentelor radio la trei radiofaruri (v. Cap. 11, § 2, p. 2).

Punctul navei poate fi obţinut de asemenea prin intersecţia unei drepte de poziţie radio cu o linie de poziţie oarecare, costieră sau astronomică.

Dat fiind sursele de erori ce pot influenţa precizia relevmentelor radio, în practica navigaţiei se recomandă ca orice punct radio să fie controlat printr-un alt procedeu bazat pe observaţie, de îndată ce condiţiile permit. În navigaţia din apropierea coastei, în condiţii de vizibilitate redusă, când conducerea navei se asigură cu ajutorul radiogoniometrului, se recomandă ca precizia punctelor radio să fie controlată prin elementele estimei (drumul deasupra fundului şi distanţa parcursă), dintre acestea; de asemenea, utilizarea simultană a sondei ultrason şi urmărirea variaţiei adâncimii apei, prin comparaţie cu sondajele indicate în hartă, aduce servicii preţioase siguranţei navigaţiei.

§7 Utilizarea radiogoniometrului la aterizări

Radiogoniometrul se dovedeşte foarte util la executarea aterizării pe un anumit punct de la coastă, când pe direcţia acestuia se află un radiofar. Pentru ca nava să meargă cu prova pe radiofar se procedează astfel:

– se calculează relevmentul prova radio corespunzător $Rp = 0° (360°) - \delta r$. De regulă, în $Rp = 0°$ deviaţia este foarte mică:

– se aduce indicele pentru *stingere* al radiogoniometrului în dreptul *Rpr* calculat, după care nava se guvernează într-un drum astfel ca radiofarul să se menţină continuu în prova (*stingerea* semnalului să se facă continuu în *Rpr* corespunzător $Rp = 0°$).

În condiţii de vizibilitate redusă, poziţia navei pe drumul de aterizare se controlează cu relevmente radio la un alt radiofar, sau, în lipsă, prin executarea de sondaje; în acest caz, pentru a obţine indicii asupra poziţiei navei, se compară adâncimile măsurate cu cele indicate în hartă de-a lungul drumului de aterizare.

Procedeul dă rezultate foarte bune în zonele unde drumurile de urmat sunt balizate cu nave-far, prevăzute cu radiofaruri; dacă vizibilitatea este foarte redusă, apropierea de nava-far trebuie executată cu precauție, pentru evitarea abordării acesteia, accident de navigație destul de frecvent în asemenea situații.

§8 Utilizarea radiogoniometrului în operații de salvare pe mare

Operațiile de salvare a navelor aflate în pericol pe mare sau a echipajelor din ambarcațiunile de salvare se execută de regulă în condiții în care poziția acestora nu este cunoscută. În asemenea situații, căutarea se execută prin radiogoniometrarea de către nava salvatoare a unui semnal radio emis de la nava (ambarcațiunea) aflată în pericol; conform prevederilor *Convenției internaționale pentru ocrotirea vieții umane pe mare*, ambarcațiunile de salvare ale navelor maritime care execută călătorii internaționale trebuie să fie dotate cu un aparat portativ radio de emisie-recepție.

Relevmentul radio măsurat la nava aflată în pericol sau la ambarcațiunea de salvare se transformă în relevment loxodromic: $Ra = Rpr = \delta r + Da$ dacă nava sau ambarcațiunea este în derivă, drumul de căutare este egal cu acest relevment, efectuându-se eventuale corecții pentru deriva de vânt sau curent. Drumul de căutare, cu prova pe nava (ambarcațiunea) aflată în pericol, se verifică ulterior prin repetarea radiogoniometrării, folosind procedeul drumului de aterizare, indicat mai sus.

§9 Stații radiogoniometrice de coastă

Stațiile radiogoniometrice de coastă, dotate cu radiogoniometre care de regulă sunt mai precise decât cele de la nave, sunt plasate în locuri astfel alese ca să se evite influențele deviatoare. *Cartea radiofarurilor* conține o listă a stațiilor radiogoniometrice de coastă, care indică pentru fiecare: denumirea, poziția geografică, indicativul de apel și frecvența de veghe; denumirea este formată din numele stației urmat de cuvântul „*gonio*".

În funcție de configurația coastei și de cerințele navigației din zonă, stațiile sunt astfel repartizate ca să fie posibilă relevarea simultană a semnalului radio emis de navă de către trei stații. Stațiile sunt asigurate cu mijloace de legătură între ele; una dintre ele are rolul de *stație principală*, care face legătura cu nava și coordonează activitatea de radiogoniometrare.

Nava interesată poate cere stației principale direct coordonatele punctului sau relevmentele în care se află în raport cu fiecare stație în parte; sistemul de lucru este următorul:

– nava intră în legătură radio cu stația principală folosind *codul Q* și se precizează natura cererii: *QRF*? = care este punctul navei?; *QTE*? = care este relevmentul la navă?;

– nava emite un semnal lung pe frecvența convenită timp de cca un minut, pe care stațiile îl radiogoniometrează. Relevmentele radio măsurate sunt comunicate stației principale;

– stația principală transmite navei relevmentele radio măsurate sau poziția, conform cererii adresate.

În cazul transmiterii către navă a relevmentelor, aşa cum se procedează de regulă, acestea pot fi precedate de literele *A*, *B* sau *C*, care indică gradul de precizie, astfel: *A*, precizia relevmentului ± 5°; *C*, precizia ± 2°; *B*, precizia ± 5°; *C*, precizia ± 10°. Dacă relevmentele nu sunt precedate de un asemenea semnal, se admite că precizia atribuită este în limitele de ± 2°.

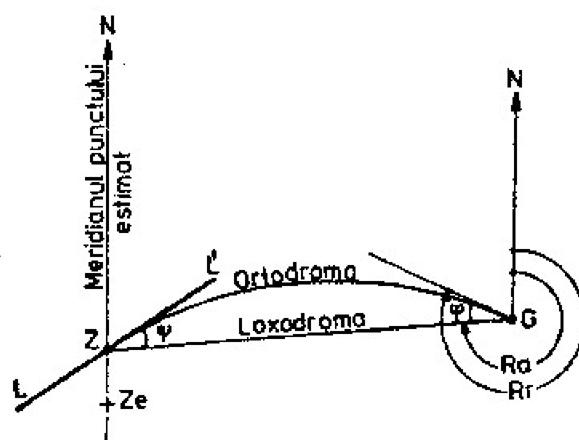


Fig. 26-16

Relevmentele transmise de staţii sunt relevmente ortodromice, cu sensul de la staţii la navă; linia de poziţie în acest caz este deci ortodroma care leagă cele două puncte.

Când diferenţa de longitudine navă-staţie este mai mică de 2°, se consideră că practic ortodroma se confundă cu loxodroma şi dreapta de poziţie radio se trasează ca relevment loxodromic *Ra* prin poziţia *G* de pe hartă a staţiei (fig. 26-18).

Dacă diferenţa de longitudine navă-staţie este mai mare de 2°, se impune trasarea liniei de poziţie radio cea mai apropiată de ortodramă; se procedează astfel:

– se transformă relevmentul ortodromic *Rr* transmis de staţie în relevment loxodromic *Ra*, prin aplicarea corecţiei ortodromice (relaţia 26-12): $Ra = Rr + \psi$. Semnele corecţiei ortodromice în acest caz sunt următoarele: în emisfera nordică, corecţia este pozitivă dacă nava este la est de staţie şi negativă, când nava este la vest de staţie; în emisfera sudică, regula semnelor se inversează. Semnele sunt deci aceleaşi care rezultă din figura 26-14, cu menţiunea că în acest caz nava este emiţător şi staţia – receptor;

– se trasează relevmentul loxodromic *Ra* astfel calculat prin punctul care reprezintă staţia şi se prelungeşte spre larg până la intersecţia meridianului punctului estimat *Ze* al navei. Punctul de intersecţie *Z* se consideră punctul determinativ al liniei de poziţie radio;

– se trasează dreapta de poziţie radio *LL'* prin punctul determinativ *Z*, astfel ca să formeze cu loxodrama un unghi egal cu corecţia ortodromică ψ, ***măsurat spre polul geografic.***

Dreapta *LL'* reprezintă deci tangenta la ortodromă în punctul determinativ şi în anumite limite, funcţie de eroarea maximă în estimă, se consideră ca linie de poziţie radio, determinată de observaţia staţiei radiogoniometrice la navă.

La intersecţia a două sau mai multe asemenea drepte de poziţie radio se obţine punctul navei; se recomandă folosirea a trei relevmente, pentru a se oferi posibilitatea controlului preciziei intersecţiilor.

Sistemul este folosit îndeosebi de navele care nu au radiogoniometre la bord. În ultima perioadă, se constată însă că numărul staţiilor radiogoniometrice de coastă a scăzut simţitor în comparaţie cu cel al radiofarurilor maritime, semn că serviciile lor sunt tot mai puţin solicitate de către nave.

Precizia relevmentelor radio măsurate de asemenea staţii de coastă este superioară observaţiilor executa la bord, datorită: lipsei influenţelor deviatoare provocate de conductoarele de la bord, eliminării erorii compasului şi a erorilor provocate de balansul navei.

§10 Radiofaruri direcţionale

Radiofarurile direcţionale se folosesc pentru balizarea unor treceri dificile, intrărilor în porturi sau a drumurilor de aterizare pe anumite puncte de la coastă. Utilizarea lor în navigaţie este condiţionată doar de existenţa la bordul navei a unui radioreceptor. Numele, poziţia geografică şi caracteristicile de funcţionare ale radiofarurilor direcţionale sunt conţinute în *Cartea radiofarurilor.*

Emisia unui radiofar direcţional se realizează cu ajutorul a două antene fixe, fiecare montată sub un anumit unghi în raport cu direcţia de balizat.

Fiecare antenă emite un anumit semnal, pe aceeaşi frecvenţă şi cu aceeaşi energie electromagnetică; emiterea semnalelor are loc alternativ, în timp ce o antenă emite, a doua este în pauză şi invers. Semnalele emise sunt de genul complementar, adică dacă o antenă emite de exemplu semnalul Morse *N* (– ·) sau *D*(– · ·), cealaltă foloseşte litera *A* (· –) sau *U* (· · –) etc.

În figura 26-19*a*, cele două antene folosesc semnalele complementare *D* (– · ·) şi *U* (· · –). Într-un sector îngust, în funcţie de orientarea antenelor, cele două semnale se suprapun, astfel că recepţia lor este sub forma unui *semnal continuu*; sectorul

Fig. 26-19 a



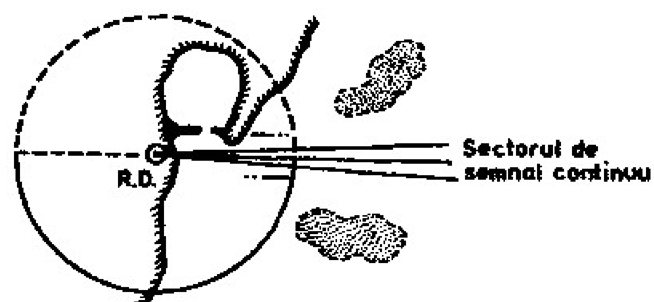


Fig. 26-19 b

de recepţie a acestui semnal se numeşte *sector de semnal continuu.* Cele două antene ale radiofarului se orientează astfel ca bisectoarea sectorului să coincidă cu direcţia de balizat, iar limitele lui să fie cuprinse în zona navigabilă, asigurându-se astfel evitarea oricărui pericol (fig. 26-19 *b*).

Spre limitele sectorului, unul din semnale se intensifică brusc, iar celălalt se reduce, astfel că la ieşirea din sector nu se mai aude decât primul; în cest mod se

poate stabili poziţia navei în raport cu sectorul navigabil de semnal continuu şi se dă posibilitatea menţinerii lui.

Conducerea navei cu un radiofar direcţional se reduce deci la menţinerea şi în sectorul de semnal continuu, ţinând la compas *drumul obligatoriu* respectiv (orientat pe bisectoarea acestui semnal). Când se vine de la larg, se recomandă ca intrarea în *drumul obligatoriu* să se facă guvernând într-un drum paralel cu coasta sau la direcţia care uneşte limita de larg a pericolelor din zonă.

27 SISTEMUL LORAN

§1 Principiul

Sistemul de radiolocaţie *loran* este un *sistem hiperbolic de navigaţie,* deoarece foloseşte hiperbola ca linie de poziţie. Staţiile de emisie loran sunt grupate în *lanţuri* de cel puţin trei staţii: o *staţie principală* (*master station*) şi două *staţii secundare* (*slave stations*); staţia principală, cu fiecare din staţiile secundare, formează o *pereche de staţii.*

Staţiile loran emit semnale sub formă de impulsuri de o anumită durată, care se repetă la intervale de timp regulate, menţinute cu o precizie riguroasă. Numărul de impulsuri transmise în timp de o secundă se numeşte *frecvenţă de repetiţie a impulsurilor* (*pulse recurrance rate*, notaţia „R.R.R.").

Observatorul de la bordul navei prevăzut cu un *receptor loran* măsoară diferenţa de timp dintre momentele recepţiei impulsurilor de la o pereche de staţii, semnalele lor fiind prezentate pe indicatorul unui *osciloscop cu tub catodic.* Diferenţa de timp este măsurată cu precizie, în microsecunde (1 microsecundă = 1 μs = 1/1 milion dintr-o secundă).

Considerând viteza de propagare a undelor constantă, rezultă că diferenţa de timp dintre momentele recepţiei impulsurilor este funcţie de diferenţa de distanţă la perechea de staţii loran. Locul geometric al punctelor de egală diferenţă a distanţelor la cele două staţii este hiperbola care are drept focare poziţiile acestora; hiperbola determinată de diferenţa de timp măsurată între momentele recepţiei impulsurilor emise de o pereche de staţii reprezintă *linia de poziţie loran.*

Punctul navei, numit *punct loran,* se obţine prin intersecţia a cel puţin două linii de poziţie loran, determinate prin măsurarea diferenţelor de timp a impulsurilor recepţionate de la două perechi de staţii. Problema de poziţie se rezolvă în două moduri:

– pe *hărţi loran,* care reprezintă *reţeaua de hiperbole* determinată de un *lanţ de staţii* (vezi fig. 27-19); fiecare familie de hiperbole a unei perechi de staţii loran este redată pe hartă într-o anumită culoare. Punctul navei în acest caz se obţine prin identificarea hiperbolelor pe care se află nava, funcţie de diferenţele de timp măsurate; la intersecţia acestora se află poziţia navei:

– prin trasarea unor porţiuni scurte de hiperbole pe harta Mercator folosită în navigaţie, determinate în acest caz cu tablele *loran* (vezi §6, pct. 2).

Precizia punctului loran este superioară preciziei punctului radiogoniometric, deoarece viteza de propagare a radioundelor care stă la baza aplicării sistemului

loran este mai stabilă decât direcția de propagare a acestora, folosită în radiogoniometrie.

În prezent se dispune de două sisteme loran de caracteristici tehnice diferite: *loran A* și *loran C*.

§2 Linia de poziție hiperbolică

1 Linia de poziție hiperbolică plană

Considerăm două stații de emisie *A* și *B*, situate în același plan (fig. 27-1); linia *AB* se numește *linie de bază*, iar liniile *AX* și *BY*, *extinderea liniei de bază* în *A* și respectiv în *B*.

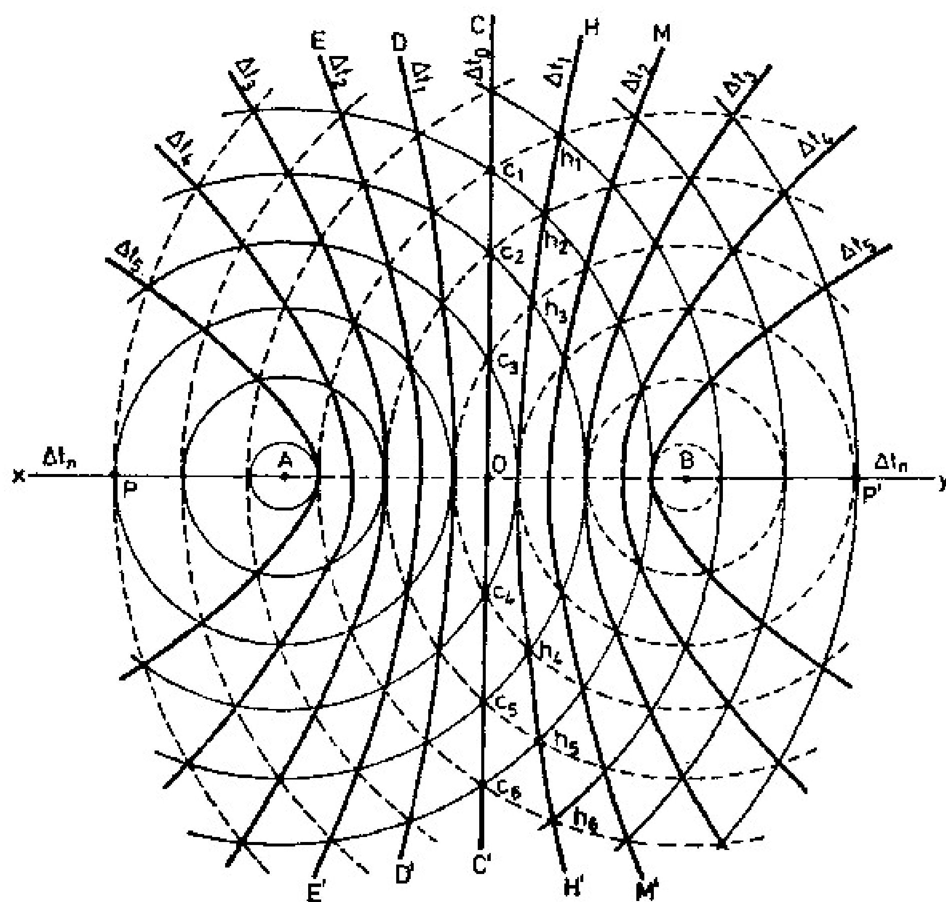


Fig. 27-1

Presupunem că stațiile *A* și *B* emit *simultan un impuls* scurt de energie electromagnetică; dacă viteza de propagare a undei este constantă, la intervale de timp egale față de momentul emisiei, energia radiată a impulsurilor *a* și *b* de la cele două stații se plasează succesiv pe o serie de cercuri concentrice față de *A* și *B*, ale căror raze, la un moment dat, sunt egale cu produsul vitezei de propagare prin intervalul de timp scurs de la transmitere.

Observatorii aflaţi de-a lungul mediatoarei CC' a liniei de bază AB, determinată de intersecţiile cercurilor de egală distanţă la A şi B, recepţionează semnalele a şi b simultan; diferenţa de timp dintre momentele recepţiei semnalelor este deci zero. Linia CC' se numeşte *linia centrală* a perechii de staţii AB. Pentru un observator capabil să măsoare diferenţa de timp Δt între momentele recepţiei impulsurilor, linia CC' constituie linia de poziţie de diferenţă de timp zero (Δt_0), determinată de intersecţiile c_1, c_2, c_3 etc.

De asemenea, locul punctelor de intersecţie h_1, h_2, h_3 etc..., determinat de diferenţa de distanţă constantă $\Delta d_1 = Ah_1 - Bh_1 = Ah_2 - Bh_2 = ...$ la A şi B şi respectiv de diferenţa de timp constantă $\Delta t_1 = \frac{Ah_1}{c} - \frac{Bh_1}{c} = \frac{Ah_2}{2} - \frac{Bh_2}{c} = ...$ (unde c este viteza de propagare a radioundelor), constituie o linie de poziţie pentru toţi observatorii care măsoară aceeaşi Δd_1 şi respectiv Δt_1, reprezentată de hiperbola HH'.

La fel ca liniile de poziţie CC' şi HH', se formează un număr infinit de mare de hiperbole, determinate de diferenţele de timp constante Δt_2, Δt_3, ..., Δt_n, care constituie *familia de hiperbole* a staţiilor A şi B. Aceste linii de poziţie hiperbolice sunt definite de diferenţele constante a distanţelor la A şi B, de forma Δd_1, Δd_2 etc ... şi respectiv de diferenţele de timp constante Δt_1, Δt_2 etc..., între momentele recepţiei semnalelor a şi b. Hiperbolele degenerează în drepte de-a lungul extinderilor liniei de bază AX şi BY, axa sistemului de hiperbole, care reprezintă locurile punctelor a căror diferenţă a distanţelor la A şi B este egală cu lungimea liniei de bază AB; astfel punctele P şi P' situate pe extinderile liniei de bază, la distanţă egală de A şi respectiv de B, sunt determinate de diferenţa distanţelor $\Delta d = PB - PA = P'A - P'B = AB$.

Receptorul loran permite doar măsurarea diferenţei de timp dintre momentele recepţiei impulsurilor a şi b, fără a se putea preciza însă care semnal a fost recepţionat primul, performanţă care ar da posibilitatea să se stabilească poziţia navei în raport cu linia centrală. Astfel, dacă, de exemplu, diferenţa de timp măsurată între momentele recepţiei impulsurilor este Δt_2, nava se poate afla deopotrivă pe liniile loran EE'sau MM'. Această ambiguitate a liniilor de poziţie loran, creată de emisia simultană a impulsurilor, poate fi practic eliminată prin luarea în consideraţie a punctului estimat doar în situaţia când nava este departe de linia centrală. Pe măsura apropierii de linia centrală, însă, incertitudinea liniilor de poziţie creşte.

Pentru a se elimina acest neajuns, s-a adoptat un alt sistem de emisie. Staţia A, cu funcţie de *staţie principală*, emite un impuls a; în momentul în care staţia B, ca *staţie secundară*, recepţionează impulsul a, emite propriul impuls b, de aceeaşi durată şi în aceeaşi frecvenţă. În aceste condiţii, diferenţa de timp Δt între momentele recepţiei semnalelor devine zero de-a lungul extinderii By a liniei de bază, creşte pe măsura depărtării de aceasta şi devine maximă pe extinderea Ax, Astfel, în punctul P' (fig. 27-2), semnalele a şi b se recepţionează simultan, deci Δt = zero; în punctul P, diferenţa de timp $\Delta t = \frac{AP}{c} - \frac{AB+BP}{c}$, unde $\frac{AP}{c}$ reprezintă timpul necesar recepţiei semnalului a faţă de momentul emisiei lui A, iar $\frac{AB+BP}{c}$, timpul necesar recepţiei semnalului b în raport cu acelaşi moment. Dacă receptorul loran se deplasează de-a

lungul liniei de bază din *B* spre *A*, diferența de timp măsurată crește de la zero – în *B*, la o valoare maximă, în *A*; dacă viteza de deplasare este uniformă, creșterea diferenței de timp este constantă.

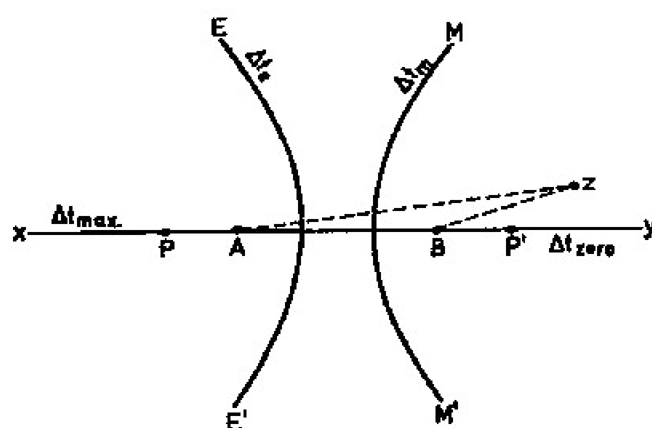


Fig. 27-2

Sistemul de emisie descris elimină ambiguitatea liniilor de poziție hiperbolice în apropierea liniei centrale, însă poate genera dificultăți practice pentru recepția impulsurilor în apropierea extinderii *By* a liniei de bază.

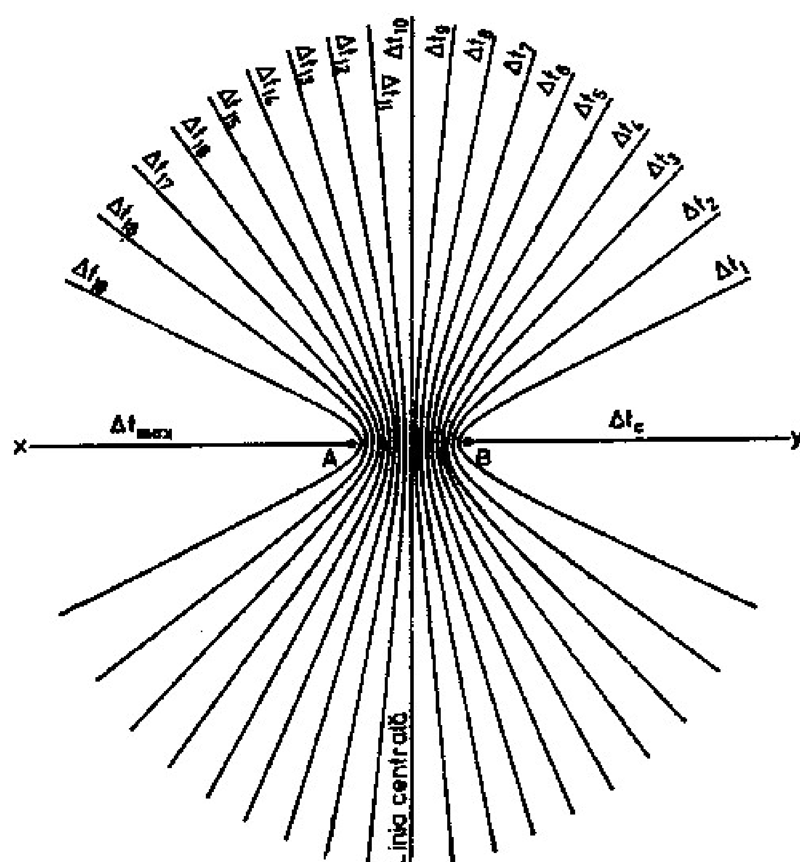


Fig. 27-3

Durata unui impuls în sistemul loran *A* este de aproximativ 40 µs. Dacă o navă se află în punctul *Z*, aproape de extinderea *By* a liniei de bază, diferența de timp între momentul recepției semnalelor poate fi mai mică de 40 µs; rezultă că este posibilă

începerea recepţiei semnalului b înainte de terminarea semnalului a, ceea ce practic ar conduce la dificultăţi în măsurarea diferenţei de timp, datorită suprapunerii lor parţiale.

Această dificultate se înlătură prin întârzierea emiterii impulsului de către staţia B faţă de momentul recepţiei semnalului staţiei A, cu un interval constant de timp numit *retardaţie de cod* (*coding delay*). Valoarea Δt_c a acesteia se stabileşte astfel ca receptorul loran plasat pe extinderea By a liniei de bază să înceapă recepţia semnalului b după un interval de timp suficient faţă de momentul terminării semnalului a.

Acest mod de emisie de către perechea de staţii A şi b realizează un sistem de hiperbole deplin determinate prin diferenţele de timp măsurate; în trasarea pe hartă, hiperbolele sunt marcate prin diferenţele de timp, între o valoare minimă egală cu retradaţia de cod Δt_c de-a lungul extinderii liniei de bază By şi o valoare maximă Δt_{max}, pe extinderea AX a liniei de bază fig. 27-3).

2 Linia de poziţie hiperbolică sferică

În consideraţiile de mai sus, cele două staţii cu întreg sistemul de linii au fost presupuse ca fiind situate în plan. În realitate, lungimea mare a liniei de bază ce leagă cele două staţii, precum şi distanţele faţă de acestea în momentul executării observaţiilor, impune să se ţină seama de sfericitatea Pământului şi de faptul că distanţele sunt reprezentate de arce de cerc mare.

Considerăm staţiile A şi B pe sfera terestră (fog. 27-4); arcul de cerc mare AB care le uneşte este *linia de bază*, iar arcul de cerc mare COC' (perpendicular pe AB în centrul acestuia) reprezintă *linia centrală*. Dacă presupunem receptorul loran în L, distanţele AL şi BL sunt de asemenea arce de cerc mare, a căror diferenţă constantă $\Delta d = AL - BL$ determină linia de poziţie hiperbolică.

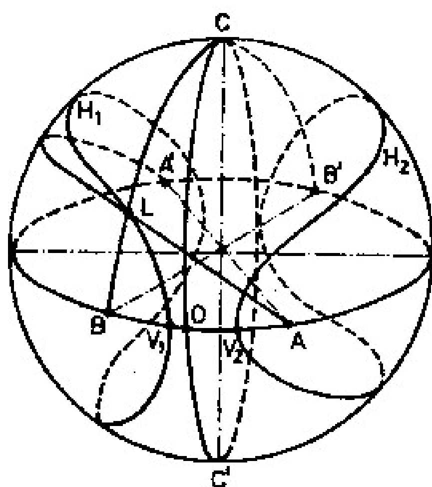


Fig. 27-4

Locul de egală diferenţă de distanţă ortodromică dintre punctele sferei terestre şi cele două staţii A şi B este o *hiperbolă sferică*; diferenţa constantă de distanţă sferică pozitivă hiperbola sferică H_1, de vertex V_1, iar cea negativă determină hiperbola sferică H_2 de vertex V_2.

Spre deosebire de hiperbola plană, hiperbola sferică este o curbă închisă. Cele două hiperbole sferice H_1 şi H_2 satisfac în orice punct al lor şi proprietatea ce

definește elipsa sferică, deoarece suma distanțelor la una din stațiile de emisie A sau B și la punctul diametral opus B' sau A', al celeilalte stații, este constantă. Astfel, punctul L al hiperbolei sferice, având ca focare punctele A și B, se obține:

$$AL - BL = \Delta d$$

în care:

$$AL = 180° - A'L$$

și deci:

$$180° - A'L - BL = \Delta d$$

de unde:

$$A'L + BL = 180° - \Delta d$$

Astfel, suma distanțelor de la punctul L la A și de la L la B', diametral opus lui B, este de asemenea constantă, fiind suplimentară diferenței constante a distanțelor de la L la A și respectiv la B.

Locurile de egală diferență a distanțelor ortodromice la perechea de stații A și B, pe sfera terestră, în zona bătăii lor, determină familia de hiperbole sferice a acesteia. Hărțile loran sunt obținute prin prezentarea în proiecție Mercator a familiilor de hiperbole sferice definite de diferitele perechi de stații din zona reprezentată.

Liniile de poziție hiperbolice, de egală diferență a distanțelor, se folosesc în aplicarea sistemului loran ca linii de egală diferență a timpului dintre momentele recepției semnalelor de la o pereche de stații, precum și a sistemelor decca și omega, ca linii de egală diferență de fază.

§3 Sistemul loran A

1 Stații de emisie

Sistemul Loran A, numit inițial *Standard Loran*, cuprinde în prezent 79 stații de emisie; figura 27-5 prezintă lanțurile stațiilor loran A din Atlanticul de nord.

Un lanț de patru stații, organizate în perechi, între care una principală și a doua – secundară, generează două *familii de hiperbole* capabile să rezolve problema poziției navei într-o anumită zonă. De regulă însă, din motive de economie, funcțiile celor două stații principale sunt îndeplinite de una singură, care este prevăzută cu două emițătoare; în acest caz poartă denumirea de *stație principală dublă*. Aceasta este componența minimă a unui *lanț de stații loran A*: o stație principală dublă (A_1 și A_2) și două stații secundare, B și C.

Frecvențele atribuie sistemului loran A sunt: 1950, 1850 și 1900 kHz; acestea sunt indicate prin canalele de frecvențe: 1, 2, și 3. În trecut, sistemul loran A a folosit și frecvența de 1750 kHz (canalul 4).

O pereche de stații loran A emite un impuls cu o durată de cca. 40 μs, în una din cele trei frecvențe; celelalte perechi de stații ce aparțin aceluiași lanț pot folosi aceeași frecvență de emisie. Diferențierea perechilor de stații se realizează după *frecvența de repetiție a impulsului (P.R.R.)*.

Sistemul loran *A* foloseşte trei *frecvenţe fundamentale de repetiţie a impulsului* (*basic recurrance rate*, notaţia „basic *P.R.R.*") şi anume:

– *lentă* (*slow*, notaţia „*S*"): se emit 20 impulsuri/ secundă:

– *joasă* (*low*, notaţia „*L*"): se emit 25 impulsuri/ secundă;

– *înaltă* (*high*, notaţia „*H*"): se emit $33^1/3$ impulsuri/ secundă.

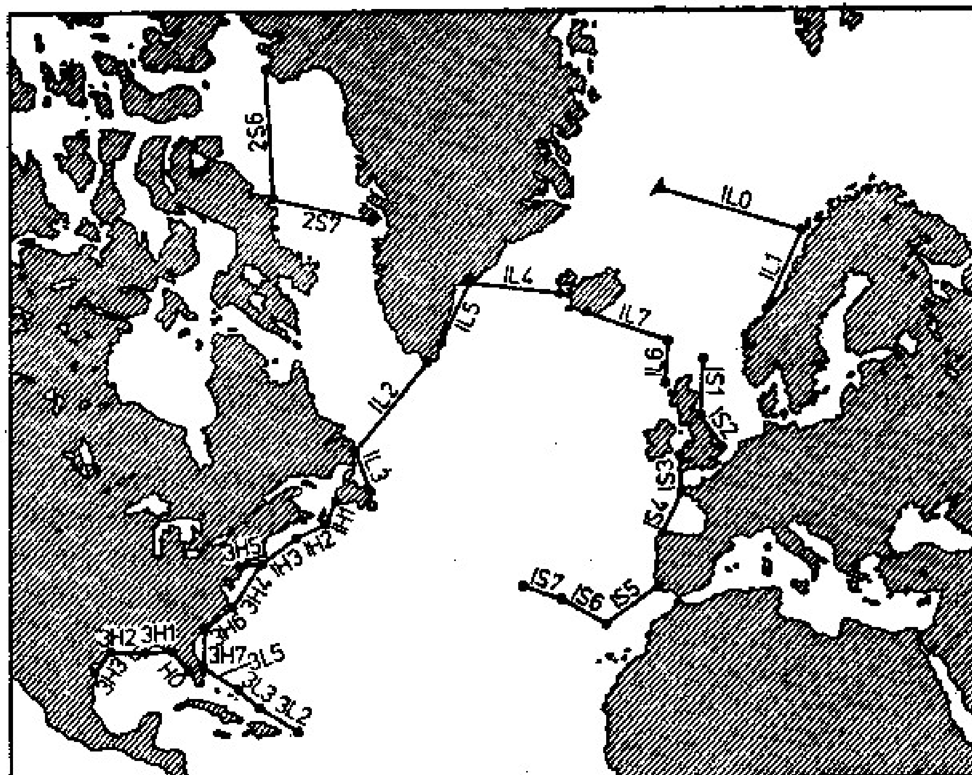


Fig. 27-5

Fiecărei *frecvenţe fundamentale de repetiţie a impulsului* (*basic P.R.R.*) îi corespunde un anumit *interval fundamental de revenire a impulsului* (*basic pulse recurrance interval*, notaţia „*basic P.R.I.*"), în microsecunde, stfel:

– *lent* (*S*): 1 milion µs/20 impulsuri = 50 000 µs. În acest caz, deci, se emit 20 impulsuri/ secundă, două impulsuri consecutive fiind separate de un interval de timp de 50 000 µs;

– *jos* (*L*): 1 milion µs/25 impulsuri = 40 000 µs;

– înalt (*H*): 1 milion µs/$33^1/_3$ impulsuri = 30 000 µs.

Pentru a lărgi posibilităţile de distingere a perechilor de staţii emiţătoare, fiecare din cele trei *intervale fundamentale de revenire a impulsului* (*basic P.R.I*) pot fi diferenţiate în încă 8 grupe specifice, numite *intervale specifice de revenire a impulsului* (*specific pulse recurrance interval*, notaţia „*specific P.R.I*"), care diferă de cele fundamentale cu un număr de microsecunde multiplu de 100, astfel:

– specific P.R.I. zero este egal cu *basic P.R.I*;

– specific P.R.I. 1 = 100 µs mai puţin decât *basic P.R.I*;

– specific P.R.I. 2 = 200 µs mai puţin decât *basic P.R.I*;

:

– specific P.R.I. 7 = 700 µs mai puţin decât *basic P.R.I*

Astfel, de exemplu, o pereche de stații care are intervalul fundamental de revenire a impulsului de tipul *L* (*basic P.R.I.* = 40 000 μs) și *intervalul specific 5* (basic *P.R.I. 5,* adică 500 μs mai puțin decât *L*) înseamnă că impulsul este repetat de perechea de stații la fiecare 40 000 – 500 = 39 500 μs.

În felul acesta, perechile de stații care emit în același canal pot să folosească în total 24 intervale de revenire a impulsului (trei intervale fundamentale, cu câte opt intervale specifice fiecare).

Fiecare pereche de stații loran *A* este desemnată printr-un *indice distinctiv* format din: o cifră, o literă și o cifră; prima cifră indică frecvența de emisie a undei purtătoare – prin numărul canalului, litera arată intervalul fundamental de revenire a impulsului și a doua cifre – intervalul specific. Astfel, perechea de stații cu indicele 2*H*2 arată că frecvența de emisie este 1850 kHz, iar intervalul de revenire a impulsului este de 30 000 – 200 = 29 800 μs (*basic P.R.I.* este *H* = 30 000 μs, iar *specific P.R.I.* este 200 μs mai puțin decât basic *P.R.I.*).

Fiecare hiperbolă ce aparține familiei unei anumite perechi de stații are de asemenea un *indice distinctiv,* format din indicele perechii de stații (care este comun întregii familii), la care se adaugă diferența de timp, în microsecunde; astfel, hiperbola cu indicele distinctiv 2*H*2 – 3 100 (fig. 27-19) aparține perechii de stații 2*H*2 și este determinată de diferența de timp de 3 100 μs.

Față de cele arătate rezultă că *o pereche de stații Loran A se identifică după frecvența de emisie și intervalul de revenire a impulsului; o anumită hiperbolă a familiei perechii de stații se determină după diferența de timp dintre momentele recepției impulsurilor.*

Succesiunea emisiei unei perechi de stații loran *A* are loc în modul arătat mai sus, la §2: stația principală *A* emite un impuls *a* cu o durată de circa 40 μs în frecvența de lucru; după recepția semnalului *a prin propagare directă* și scurgerea unui interval de timp egal cu *retardația de cod,* stația secundară *B* emite un semnal *b* de aceeași durată și în aceeași frecvență. Necesitatea asigurării propagării impulsului stației principale *A* pe calea undei directe la stația secundară *B* face ca linia de bază *AB* să fie limitată la circa *500 Mm,* dacă este deasupra mării și circa 100 Mm, când aceasta este deasupra uscatului. Lungimea optimă a liniei de bază, când stațiile sunt separate de mare, este de cca. 300 Mm.

2 Recepția semnalelor și măsurarea diferenței de timp

Receptorul loran *A* instalat la bord este un radioreceptor prevăzut cu un osciloscop cu tub catodic, care prezintă imaginile semnalelor primite de la perechea de stații și permite măsurarea diferenței de timp dintre momentele recepției lor. Pe fața fluorescentă a tubului catodic, care constituie *indicatorul* receptorului, un spot luminos se deplasează de la stânga la dreapta cu o viteză constantă. Acest spot este deflectat în sus pe durata recepției impulsurilor, formând niște semnale luminoase verticale (fig. 27-6).

Perioada *baleiajului* segmentului *MN* de către spotul luminos se poate regla și măsura cu precizie, cu ajutorul unui oscilator cu quarț; *viteza de baleiaj* a spotului luminos corespunde deci acestei perioade. În acest mod segmentul *MN* constituie o bază de măsurare a timpului numit *bază de timp.*

Presupunem că receptorul loran a fost sincronizat pentru recepţia semnalelor unei perechi de staţii *A* şi *B*, a căror frecvenţă de repetiţie este de 25 impulsuri pe secundă şi respectiv intervalul de revenire a impulsului este de 40 000 μs. Aceasta înseamnă că spotul luminos baleiază *baza de timp MN* a indicatorului în 40 000 μs, cu o frecvenţă de 25 ori pe secundă.

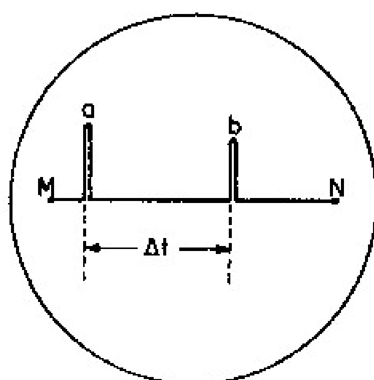


Fig. 27-6

Dacă sincronizarea este corect realizată, rezultă că imaginile semnalelor *a* şi *b* recepţionate de la staţia principală *A* şi cea secundară *B* vor apare pe indicator de fiecare dată în acelaşi loc; se spune că semnalele sunt *staţionare*. Baza de timp fiind egală cu intervalul de revenire a impulsului, înseamnă că diferenţa de timp dintre momentele recepţiei semnalelor *a* şi *b* este egală cu intervalul orizontal *ab* dintre acestea, determinat prin raportare la baza de timp.

Cele arătate reprezintă principiul măsurării diferenţei de timp cu receptorul loran *A*. Din motive de precizie, traseul spotului luminos pe indicatorul loran *A* este împărţit în două jumătăţi (fig. 27-7*a*): spotul apare în *P*, se deplasează cu viteză constantă spre dreapta până în *R*, de aici „sare" în *S;* din *S* se deplasează cu aceeaşi viteză constantă până în *T*, de unde „sare" în punctul iniţial *P*, continuând acelaşi ciclu. *Traseul superior (upper trace) PR şi traseul inferior (lower trace) ST* sunt vizibile pe indicator; curbele *PS* şi *TR* sunte invizibile.

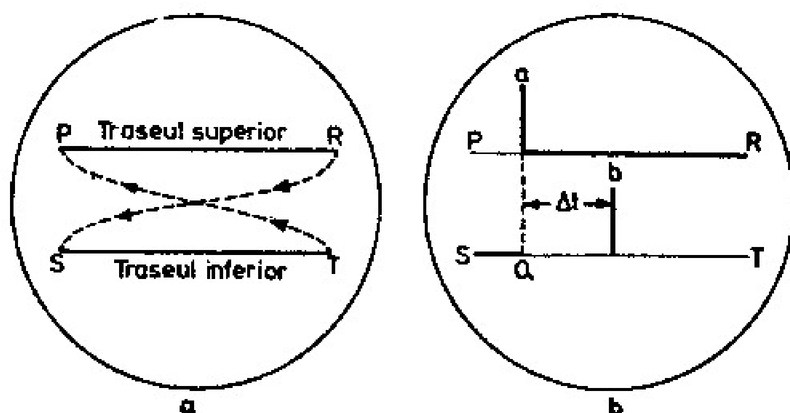


Fig. 27-7

Semnalul *a* de la staţia principală *A* apare în mod normal pe traseul superior, în stânga, iar semnalul *b* al staţiei secundare *B* – pe traseul inferior, în dreapta faţă de verticala semnalului *a* (fig. 27-7*b*); diferenţa de timp Δt dintre momentele recepţiei semnalelor este reprezentată de intervalul orizontal dintre semnalele *a* şi *b*, raportat la baza de timp. Originea bazei de timp se consideră momentul recepţiei semnalului

a de la stația principală; spotul luminos parcurge spațiul de la semnalul *a* pe traseul superior până în *R* și apoi spațiile *RS* și *SQ* într-un interval de timp egal cu jumătatea intervalului de revenire a impulsului $\left(\frac{\text{P.R.I.}}{2}\right)$.

Înălțimea imaginii unui semnal este funcție de intensitatea impulsului recepționat, iar poziția lui pe indicator, de momentul recepției.

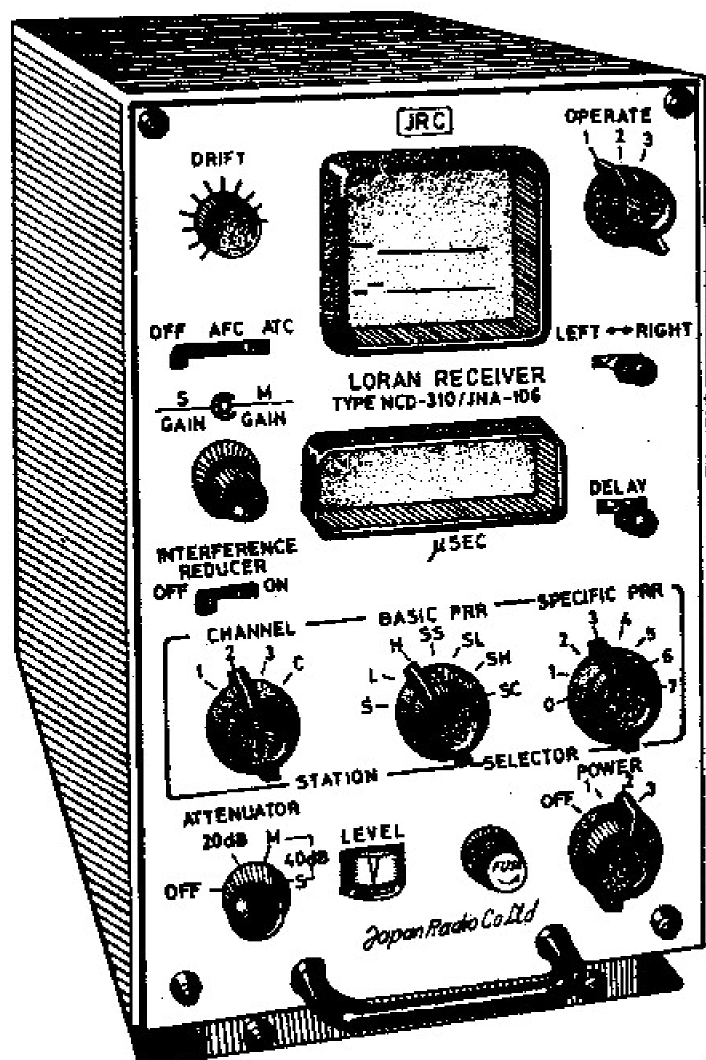


Fig. 27-8

Figura 27-8 reprezintă un receptor loran (*A* și *C*); operarea receptorului pentru selecționarea unei anumite perechi de stații loran *A* și realizarea sincronizării în vederea măsurării diferenței de timp se efectuează astfel:

– se comută receptorul pe frecvența de emisie a perechii de stații (canalul 1, 2 sau 3), arătată de prima cifră a indicelui distinctiv al acesteia, prin acționarea comutatorului „CHANNEL". În această situație, pe indicator apar toate stațiile care lucrează în aceeași frecvență și în a căror bătaie se află receptorul, semnalele lor deplasându-se pe indicator cu diferite viteze;

– se reglează receptorul pe intervalul fundamental (comutatorul *„basic P.R.R."*, cu simbolurile *S*, *L* sau *H*) și cel specific (comutatorul *„specific P.R.R."* pozițiile zero la 7) de revenire a impulsului perechii de stații, arătat de indicele distinctiv al

acesteia. Astfel, semnalele *a* și *b* recepționate de la perechea de stații selecționată devin staționare, în forma prezentată în figura 27-7*b*. Dacă pozițiile reciproce ale celor două semnale nu prezintă o asemenea formă (*a* pe traseul superior, în stânga și *b* pe cel inferior, în dreapta față de *a*), ele se pot corecta prin acționarea temporară a comenzii *stâng–dreapta* (*left–right*), care modifică viteza de baleiaj a spotului

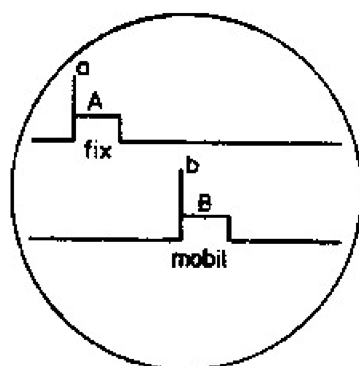


Fig. 27-9

luminos în intervalul respectiv de timp, până când semnalele ajung în poziții convenabile pe indicator pentru efectuarea măsurării.

Operațiunea de măsurare a diferenței de timp Δt se efectuează în trei etape. Cele două trasee au niște porțiuni mai ridicate, numite *piedestale* (fig. 27-9); *piedestalul A* de pe traseul superior, care este fix, în partea din stânga; *piedestalul B* de pe traseul inferior, mobil de-a lungul acestuia. Lungimea acestora se exprimă în microsecunde și se află într-un anumit raport față de baza de timp, respectiv de intervalul de revenire a impulsului; astfel, în exemplul dat, când baza de timp este de 40 000 µs, piedestalul este de 2 500 µs. Cele două piedestale constituie un mijloc auxiliar pentru măsurarea diferenței de timp. Pentru a servi acestui scop, semnalele *a* și *b* se *aliniază* cât mai aproape de marginile din stânga ale piedestalelor *A* și respectiv *B*, astfel:

– ambele semnale *a* și *b* se deplasează prin acționarea comenzii *stânga–dreapta (left-right)*, până când semnalul *a* al stației principale este *„urcat"* pe *piedestalul A* și aliniat la marginea din stânga a acestuia. Prin această manevră, *se face deplasarea ansamblului celor două semnale, fără ca pozițiile lor reciproce să se modifice;*

– *se deplasează piedestalul B* prin acționarea comenzii pentru *măsurarea aproximativă a diferenței de timp (coarse delay)*, până când semnalul *b* al stației secundare este „urcat" pe acest piedestal și aliniat la marginea lui din stânga.

În aceste condiții, *funcție de precizia alinierii semnalelor a* și *b* la piedestalele *A* și *B*, într-o primă aproximație, spațiul orizontal Δt_i dintre marginile din stânga ale piedestalelor reprezintă diferența de timp, care este afișată numeric la indicator (fig. 27-10*k*); intervalul orizontal Δt dintre semnalele *a* și *b* este diferența de timp care trebuie măsurată.

Pentru măsurarea *fină* a diferenței de timp, se procedează apoi la două amplificări electrice și alinieri succesive ale imaginilor semnalelor *a* și *b*, astfel:

– se efectuează o primă amplificare (prin acționarea comenzii *operate* în poziția 2), astfel că cele două piedestale *A* și *B* ajung la dimensiunea diametrale a indicatorului (fig. 27-10*L*). Se execută apoi alinierea pe verticală a semnalelor *a* și *b*

(prin acționarea comenzii *de măsurare aproximativă a diferenței de timp „coarse delay");*

– se efectuează a doua amplificare numai a semnalelor *a* și *b* (prin acționarea comenzii *operate* în poziția 3), în limitele *CD* ale piedestalului superior și *EF* ale celui inferior.

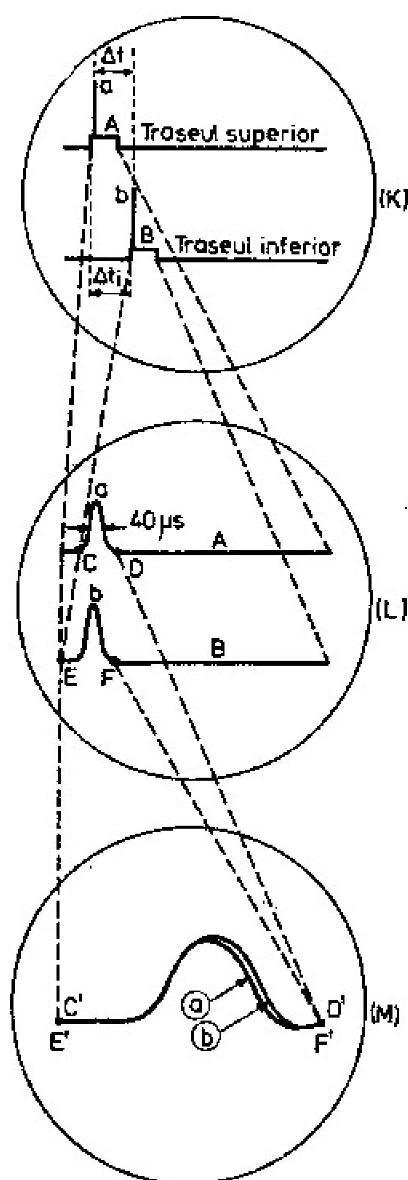


Fig. 27-10

Se procedează apoi la realizarea *coincidenței* marginilor din stânga a semnalelor *a* și *b* (fig. 27-10*M)*, prin acționarea comenzii pentru *măsurarea fină a diferenței de timp („fine delay").*

După aceste operațiuni succesive, se afișează la indicator mărimea diferenței de timp dintre momentele recepției semnalelor *a* și *b*, în formă numerică („μs), care determină linia de poziție hiperbolică pe care se află nava.

În cele de mai sus s-a prezentat succint procedura manuală de măsurare. Receptoarele loran moderne folosesc metode automate de măsurare a diferenței de timp și de afișare numerică a mărimii acesteia prin *tuburi Nixie*.

3 Utilizarea semnalelor undei reflectate

Precizia măsurării diferenței de timp este superioară în cazul recepției undei directe. Bătaia acesteia depinde în principal de conductivitatea mediului de propagare. Deasupra mării, datorită variațiilor determinate de sezon, latitudine și

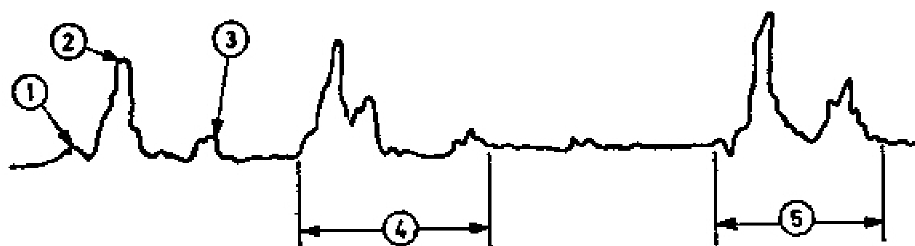


Fig. 27-11

zona geografică, bătaia undei directe a sistemului loran *A* este cuprinsă între 450 și 800 Mm în timpul zilei și ceva mai redusă pe timpul nopții (vezi cap. 26, § 2).

Pe timpul nopții și uneori chiar și ziua la latitudini înalte, la distanțe mari de stațiile de emisie, este posibilă recepția atât a semnalului direct, cât și a celui reflectat, a aceluiași impuls. Semnalul undei reflectate este recepționat după cel al undei directe, deoarece are de parcurs un spațiu mai mare (vezi fig. 26-1); intervalul de timp dintre momentele recepției lor variază în principal funcție de distanța la stația de emisie, altitudinea stratului ionizat reflectat și numărul reflexiilor. Astfel, la limita bătăii undei directe, în anumite condiții de propagare, același semnal poate să apară pe ecranul receptorului loran *A* în succesiunea arătată în fig 27-11: semnalul undei directe (1); semnalul simplu reflectat de stratul *E* (2), numit „semnal simplu *E*"; semnalul dublu reflectat de stratul *E* (3), „semnalul dublu *E*"; semnalul simplu reflectat de stratul *F* (4), „semnalul simplu *F*"; semnalul dublu reflectat de stratul *F* (5), numit *„semnalul dublu F"*.

Una dintre problemele importante în aplicarea sistemului loran *A* este aceea a distincției ce trebuie făcută de observator între semnalele undei directe și semnalele undei reflectate.

În practica navigației, pentru identificarea celor două categorii de semnale, sunt de mare utilitate descrierile și fotografile acestora prezentate ca modele în documentația tehnică a receptorului loran de la bord. Studiul și compararea acestora cu imaginile obținute pe indicatorul receptorului prezintă un ajutor prețios.

Un observator experimentat, cu cunoștințe despre propagarea undelor loran *A*, care ține seama de perioada zilei și de zona în care navigă, poate avea o primă orientare asupra categoriei de semnale ce va obține pe indicatorul receptorului său în funcție de distanța punctului estimat al navei la stațiile de emisie.

Criteriile principale pentru distingerea semnalelor undei reflectate de ale celei directe sunt următoarele:

– semnalul undei directe este practic constant, cu *pâlpâiri* discrete. Semnalele undei reflectate prezintă fenomenul de *fading,* manifestat prin variații evidente în amplitudine, care se pot constata cu ușurință dacă acestea sunt observate timp de câteva minute;

– semnalul undei reflectate se descompune în două sau mai multe semnale de amplitudini diferite, care apoi prezintă fiecare în parte fenomenul de *fading*.

Cele două manifestări caracteristice ale semnalelor undei reflectate fac ca măsurarea automată a diferenţei de timp să fie dificilă sau uneori chiar imposibilă.

Odată cu depărtarea navei de staţia de emisie în afara bătăii undei directe, semnalele acesteia dispar şi apar numai semnalele undei reflectate. În figura 27-11, sunt reprezentate doar patru feluri de semnale ale undei reflectate; în realitate însă, îndeosebi în zonele tropicale, pot să apară până la aproximativ 30 de tipuri de asemenea semnale. Desigur, identificarea tuturor acestor semnale este foarte dificilă şi pot să intervină confuzii. De aceea, în practica navigaţiei se limitează doar la observarea *semnalelor reflectate de stratul E* (2), primele care apar după dispariţia semnalelor undei directe.

Semnalele undei simplu reflectate de stratul *E* încep să devină slabe şi apoi dispar la distanţa de circa 1 400 Mm de staţia de emisie, care constituie practic şi limita utilizării normale a sistemului loran *A*. Observarea altor categorii de semnale ce succed, de tipul *dublu E, simplu F* etc. oferă o sursă multiplă de erori, iar observatorului i se cer multă atenţie şi o experienţă considerabilă.

Tablele de corecţii pentru unda reflectată, conţinute de tablele loran, sunt calculate numai pentru stratul *E* al ionosferei (vezi § 5).

§4 Sistemul loran C

1 Staţii de emisie

Sistemul loran *C* este o formă mai evoluată a sistemului loran *A*. Primul lanţ de staţii loran *C* a intrat în funcţie pentru uzul general al navigaţiei în anul 1957. În prezent se dispune de 30 de staţii loran *C*, ce acoperă o suprafaţă importantă a apelor navigabile ale globului; în figura 27-12 suprafaţa haşurată reprezintă zona acoperită de bătaia undelor directe, iar cea din afara acesteia şi linia punctată, aria acoperită de bătaia undelor reflectate a acestor staţii.

Banda de frecvenţe atribuită sistemului loran *C* este de 90–110 kHz. Toate staţiile sistemului lucrează în aceeaşi frecvenţă, de 100 kHz; interferenţele reciproce sunt evitate prin sistemul emiterii succesive a unor *serii de impulsuri* de către staţiile ce aparţin aceluiaşi lanţ şi folosirea unor intervale diferite de revenire.

Frecvenţa joasă a undei purtătoare şi puterea mare la emisie (puterea de vârf de 60–200 kW) fac ca bătaia undei directe să ajungă până la 1400 Mm pe timpul zilei şi 1 000 Mm noaptea, când se propagă deasupra mării, permiţând linii de bază între staţii de 500–1 000 Mm. Caracteristicile de emisie ale staţiilor loran *C* fac ca undele reflectate să fie prezentate în toate cele 24 ore ale zilei, a căror bătaie poate să ajungă până la 2 300 Mm, atât pe timpul nopţii, cât şi ziua.

Lanţul de staţii loran *C* cuprinde o staţie principală *(„M", master),* de regulă cu o poziţie centrală, şi până la patru staţii secundare *(slaves),* desemnate prin literele *W, X, Y, Z*. Configuraţia lanţului de staţii este determinată de zona de prim interes pentru navigaţie din aria acoperită, astfel ca reţeaua hiperbolică să asigure unghiuri

favorabile de intersecţie a liniilor de poziţie, cât mai apropiate de 90° şi nu mai mici de 30°.

Într-un lanţ de cinci staţii loran *C*, *M* – staţia principală şi *W*, *X*, *Y*, *Z* –staţii secundare, semnalele se emit succesiv sub forma unor serii de impulsuri, în modul

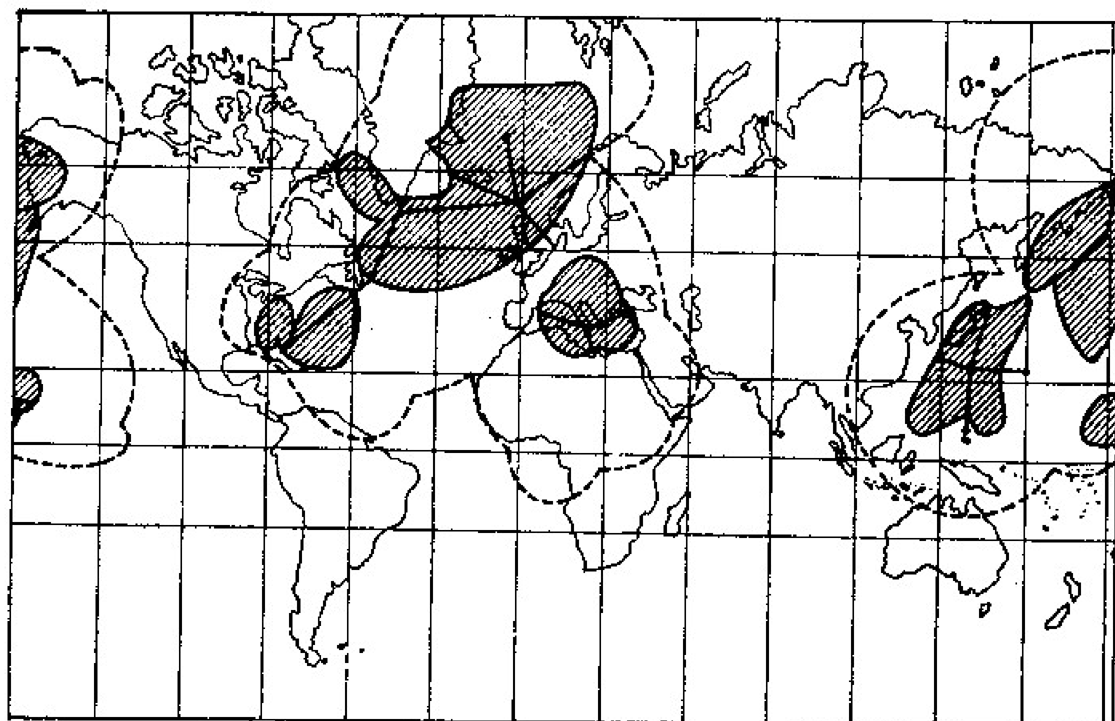


Fig. 27-12'

prezentat în figura 27-13: staţia principală *M* emite o serie de opt impulsuri separate de intervale de 1 000 µs şi un al noulea impuls – în scopul de a-i face posibilă identificarea, la un interval de 500 sau 1 500 µs de cel precedent; fiecare staţie secundară emite în succesiunea dată o serie de numai opt impulsuri, cu un interval de 1 000 µs între ele. Durata unui impuls este de aproximativ 150 µs.

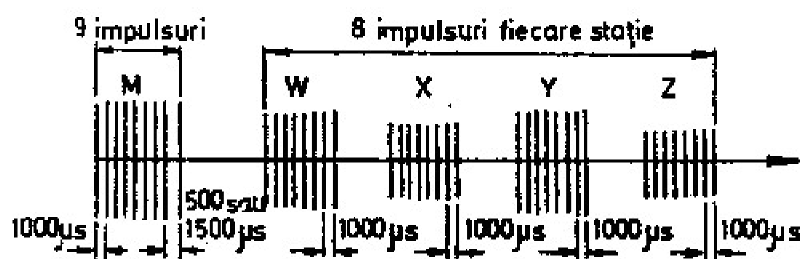


Fig. 27-13

Fiecare staţie secundară din lanţ emite seria de impulsuri cu o anumită retardaţie de cod faţă de momentul emisiei staţiei principale; valorile retardaţiilor de cod sunt astfel atribuite, încât, în orice parte a zonei acoperite de lanţ s-ar găsi receptorul, semnalele staţiilor să fie recepţionate în aceeaşi succesiune.

Sistemul loran *C* foloseşte frecvenţele fundamentale *S*, *L* şi *H* de repetiţie a impulsurilor *(basic P.R.R.)* ale sistemului loran *A* şi alte trei proprii: *SS* = 10 serii de

impulsuri pe secundă; *SL* = $12^1/_2$; *SH* = $16^1/_2$. Acestora le corespund trei intervale fundamentale de revenire a impulsurilor *(basic P.R.I.)*: *SS* = 1 milion µs/10 serii de impulsuri = 100 000 µs; *SL* = 80 000 µs; *SH* = 60 000 µs. Pe lângă acestea, se utilizează și cele opt grupe de *intervale specifice (specific P.R.I.)* – de la zero la 7, cu aceeași semnificație ca și la sistemul loran *A*.

O anumită pereche de stații loran *C* este determinată printr-un *indice distinctiv* ce conține simbolul *SS, SL, SH, S, L* sau *H* al intervalului de revenire a semnalului *(basic P.R.I.)*, o cifră de la zero la 7 indicând intervalul specific *(specific P.R.I.)* și litera ce reprezintă stația secundară *(W, X, Y* sau *Z)*. Astfel, de exemplu, indicele distinctiv al perechii de stații *SS*2 – *Y* arată că intervalul de revenire a semnalului este 99-800 µs *(SS* = 100 000 µs și specific P.R.I. 2 = 200 µs mai puțin decât *SS)* și perechea este formată cu stația secundară *Y;* cunoscând indicele distinctiv, cu ajutorul hărții loran se poate stabili numele stației principale și al celei secundare.

Indicele distinctiv al unei hiperbole din familia perechii de stații *SS*2 – *Y* se stabilește adăugând la acesta diferența de timp, în microsecunde, astfel, de exemplu: *SS*2 –*Y* – 54 900.

2 Recepția semnalelor și măsurarea diferenței de timp

Figura 27-13 reprezintă și schema recepției semnalelor de la lanțul de stații *M, W, X, Y, Z;* succesiunea recepției semnalelor de la diferitele stații este aceeași, diferă doar intervalul de timp dintre momentele recepției semnalelor, funcție de poziția receptorului în raport cu perechile de stații.

Diferența de timp Δt dintre momentele recepției semnalelor *m* și *w* recepționate de la stația principală *M* și cea secundară *W* este reprezentată de intervalul orizontal cuprins între momentele inițiale S_1 și S_2 ale celor două semnale, raportat la baza de timp *LP* pentru care receptorul loran este reglat, prin sincronizare cu intervalul de revenire a semnalelor (fig. 27-14)

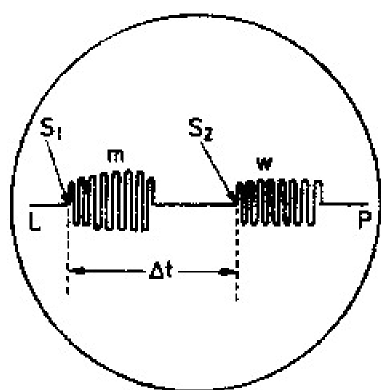


Fig. 27-14

Precizia măsurării diferenței de timp în sistemul loran depinde în mare măsură de claritatea marginilor din stânga ale imaginilor semnalelor; acestea marchează momentele inițierii recepției semnalelor. La sistemul loran *A*, marginea frontală din stânga imaginii semnalului nu este întotdeauna suficient de evidentă, printr-o formă abruptă; obținerea unei asemenea forme a semnalului ar impune modificarea

caracteristicilor tehnice ale stațiilor de emisie, performanță ce este realizabilă, dar care ar cauza interferențe însemnate în propagarea undelor de alte frecvențe, inadmisibilă în aplicarea sistemului.

Din acest punct de vedere, sistemul loran *C* prezintă performanțe superioare. Durata unui impuls în acest sistem este de aproximativ 150 μs; oscilația m_1 a unui

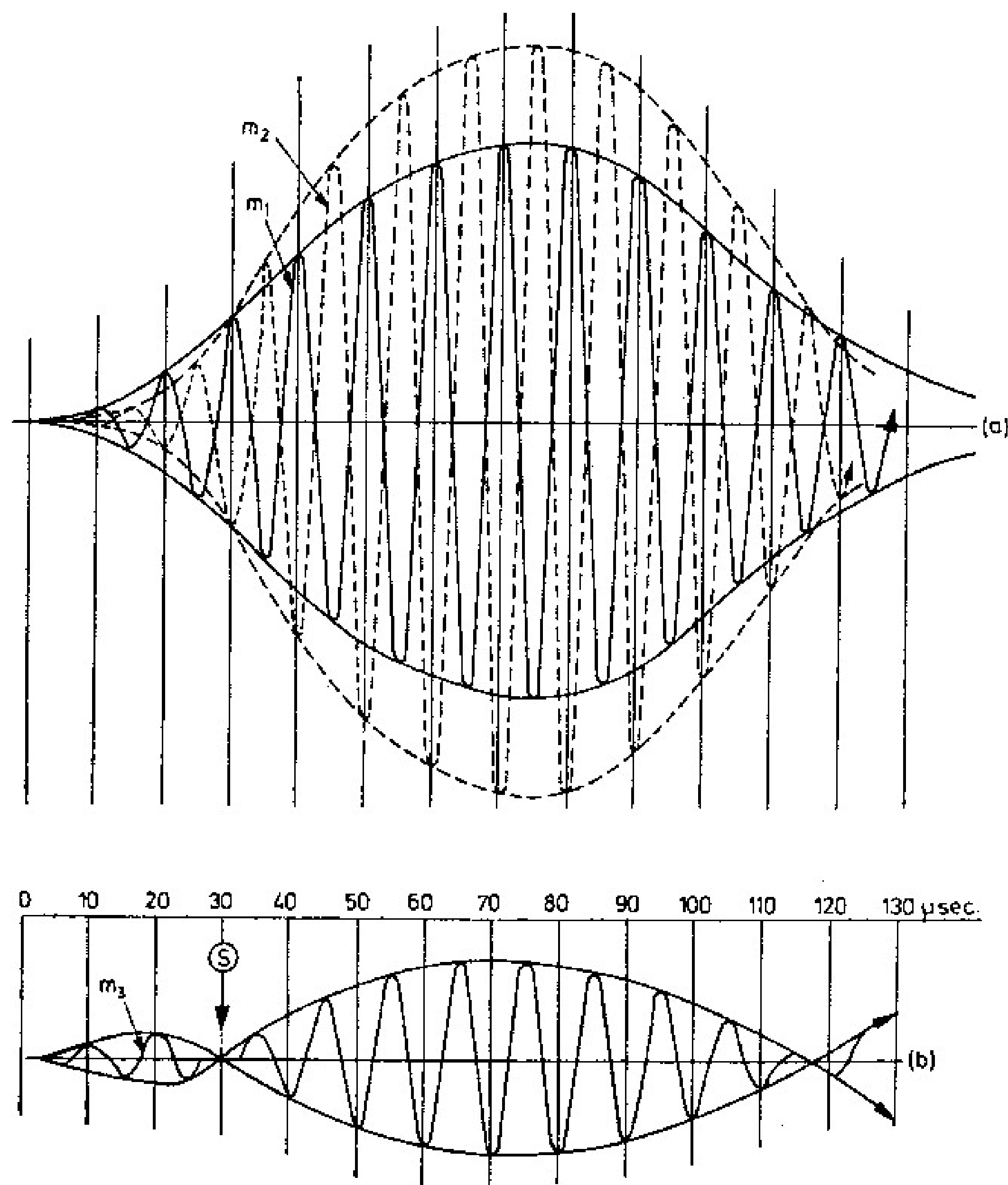


Fig. 27-15

impuls, după recepție, este amplificată (fig. 27-15 *a*). Această oscilație este apoi reamplificată prin factorul 1.35 și decalată în față de 180°, obținându-se astfel oscilația m_2. Cele două oscilații *m*1 și *m*2 sunt însemnate și se obține astfel oscilația rezultată m_3 (fig. 27-15*b*); aceasta conține punctul *S* de amplitudine zero, evident definit, la exact 30 μs după inițierea recepției impulsului. În sistemul loran *C*, diferența de timp Δt se determină prin măsurarea spațiului orizontal dintre punctele *S* ale impulsurilor recepționate de la stația principală și una secundară.

În procedeul de măsurare aplicat, partea din dreapta a undei m_3 față de punctul *S*, nu este folosită; aceasta prezintă o importanță practică deosebită a sistemului loran *C*, pentru eliminarea influenței undei reflectate. La distanța de stația de emisie la care se poate face recepția comună de semnale directe și reflectate, semnalele undei reflectate se recepționează cu o retardație de cel puțin 30 µs față de cele ale undei directe. Aceasta înseamnă că poziția punctului *S* al oscilației rezultate m_3 nu este afectată de vreo influență a undei reflectate.

În afara zonei acoperite de bătaia undei directe, observațiile se fac la semnalele undei reflectate, cărora li se aplică corecția pentru unde reflectate (vezi §5).

Precizia măsurării diferenței de timp în modul arătat mai sus, considerat ca *metodă aproximativă (coarse method)* a sistemului, este de circa ± 4 µs. Ea este îmbunătățită prin aplicarea *metodei comparației automate a fazei oscilațiilor* recepționate *(cycle-matching method);* diferența de timp între momentele recepției semnalelor poate fi măsurată în acest caz la precizia de ± 0.1 µs.

Frecvența oscilației unui impuls este de 100 kKz. În receptorul loran *C* este instalat un oscilator care generează aceeași frecvență, de 100 kKz, realizat astfel ca acesta să intre în față cu oscilațiile impulsurilor recepționate de la stația principală și apoi să se mențină, sub efectul semnalelor primite de la aceasta. În acest mod, receptorul dispune de o oscilație continuă în față cu unda recepționată de la stația principală.

Frecvența de lucru a stațiilor din lanț este riguros aceeași, de 100 kHz; la recepția impulsului de la stația secundară, receptorul măsoară diferența de fază dintre oscilațiile oscilatorului propriu și ale acestui impuls. Durata unui ciclu este de 1/100 000 secunde = 10 µs, iar diferența de fază se poate măsura până la 1/100 ciclu, deci precizia metodei este de ± 0.1 µs.

Aplicarea metodei comparației automate a fazei oscilațiilor recepționate ridică considerabil precizia sistemului loran *C*. În zonele în care rețeaua hiperbolică a lanțului de stații are o sensibilitate corespunzătoare și unghiul de intersecție a liniilor de poziție este favorabil, precizia sistemului loran *C* se apropie de cea a sistemului loran *C* se apropie de cea a sistemului decca.

§5 Corecția undei reflectate

Din cele arătate mai sus la §3, punctul 3, singurele semnale ale undei reflectate care pot fi identificate cu ușurință și deci utilizate pentru determinarea *punctului loran* sunt cele de tipul *simplu E*.

Considerăm stația de emisie *A*, receptorul loran *R* și stratul ionizat *E* la altitudinea *h* (fig. 27-16); este evident că distanța *AHR* parcursă de impulsul undei reflectate este mai mare decât *AQR* a aceluiași impuls purtat de unda directă. În consecință, pe indicatorul receptorului, același impuls produce două semnale care se recepționează în succesiunea: semnalul undei directe și apoi semnalul undei reflectate. Intervalul de timp dintre momentele recepției semnalului undei directe și cel al undei reflectate, al aceluiași impuls, se numește *retardația undei reflectate (skywave transmission delay),* care se notează cu *E*.

Citirile diferenței de timp la semnalele undei directe a unei perechi de stații se notează cu T_G *(ground wave reading);* citirile la semnalele undei reflectate se

notează cu T_S *(skywave reading). Pe hărţile loran sunt trasate hiperbolele determinate de diferenţele de timp T_G ale semnalelor undei directe.*

Rezultă că, în cazul citirilor T_S la semnalele undei reflectate a unei perechi de staţii, pentru determinarea *punctului loran* se impune ca acestea să fie transformate în citiri T_G prin aplicarea unei corecţii C egală cu diferenţa retardaţiilor undelor

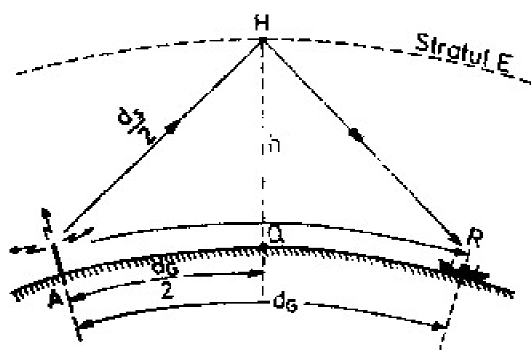


Fig. 27-16

reflectate recepţionate de la cele două staţii, numită *corecţia undei reflectate (skywave correction).*

Pentru determinarea corecţiei undei reflectate C a unei perechi de staţii, în cazul reflexiei simple de către stratul ionizat E (fig. 27-16), trebuie calculate retardaţiile undelor reflectate pentru fiecare staţie în parte. În vederea stabilirii relaţiei de calcul a retardaţiei undei reflectate E, considerăm triunghiul AHQ, dreptunghi în Q, ale cărui laturi sunt: $AH = \frac{d_S}{2}$ =jumătatea distanţei AHR parcursă de unda reflectată; $AQ = \frac{d_G}{2}$ =directă; HQ = jumătatea distanţei AQR parcursă de unda directă; $HQ = h$ = altitudinea stratului ionizat E. În acest triunghi:

$$\left(\frac{d_S}{2}\right)^2 - \left(\frac{d_G}{2}\right)^2 = h^2$$

sau:

$$\left(\frac{d_S}{2} - \frac{d_G}{2}\right)\left(\frac{d_S}{2} + \frac{d_G}{2}\right) = h^2$$

de unde:

$$d_S - d_G = \frac{4h^2}{d_S + d_G} \tag{27-1}$$

pe care împărţind-o la viteza de propagare a impulsurilor electromagnetice *(c)*, se obţine:

$$\frac{d_S - d_G}{c} = \frac{4h^2}{c(d_S + d_G)}$$

Însă $\frac{d_S}{c}$ şi $\frac{d_G}{c}$ reprezintă timpul necesar semnului undei reflectate t_S şi respectiv al celei directe t_G pentru a ajunge din A în R. Deci, *retardaţia undei reflectate:*

$$E = t_S - t_G = \frac{4h_2}{c(d_S + d_G)} \qquad (27\text{-}2)$$

Relaţia (27-2) arată că E variază direct cu altitudinea h a stratului ionizat şi invers cu distanţa dintre staţia de emisie şi receptor.

Tablele loran conţin *curbele retardaţiei undei reflectate (skywave transmission delay curves)* pentru altitudinea medie a stratului ionizat E pe timpul zilei (73 Km) şi pe timpul nopţii (91 Km); axa absciselor este reprezentată de distanţa receptor (navă)

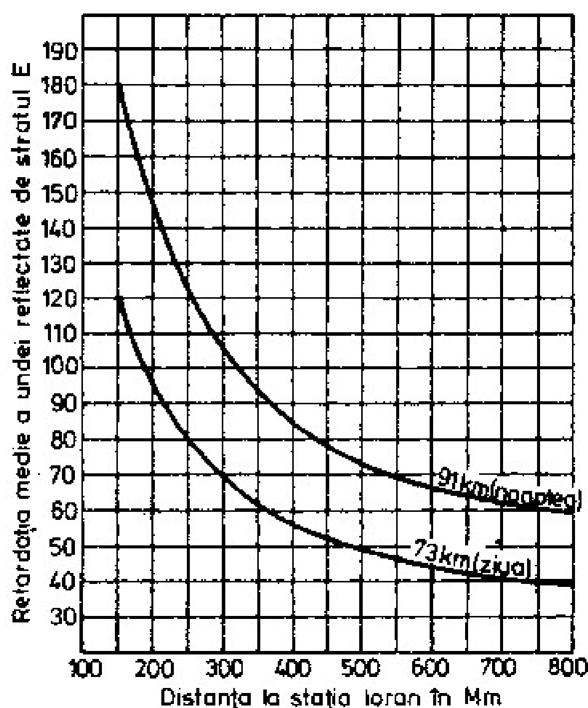


Fig. 27-17

– staţia de emisie, iar axa ordonatelor dă retardaţia medie a undei reflectate, în microsecunde (fig. 27-17).

Figura 27-17 arată că retardaţia undei reflectate are o variaţie considerabilă funcţie de distanţa la staţia de emisie la valori ale acesteia sub 250 Mm, motiv pentru care se recomandă să nu se folosească semnalele undei reflectate pentru determinarea punctului navei în asemenea condiţii.

Din cele arătate rezultă că, la recepţia celor două impulsuri ale unei perechi de staţii loran, fiecare impuls al undei reflectate apare pe indicatorul receptorului cu o anumită retardaţie în raport cu semnalul corespunzător al undei directe, cu următoarea particularitate: retardaţia undei reflectate a staţiei mai apropiate de navă este mai mare decât cea a staţiei mai depărtate. Notând retardaţia undei reflectate de la staţia principală A cu E_A şi cu E_B a celei de la staţia secundară B, se obţine (fig. 27-18):

$$T_G = T_S + (E_A - E_B) \qquad (27\text{-}3)$$

Diferența $(E_A - E_B)$ reprezintă *corecția undei reflectate C* ce trebuie aplicată citirii T_S pentru a obține T_G:

$$T_G = T_S + C. \quad (27\text{-}4)$$

Corecția undei reflectate C este pozitivă dacă $E_A > E_B$, deci dacă stația principală este mai aproape de navă decât cea secundară și invers. Ea se poate obține făcând diferența $(E_A - E_B)$, cele două retardații fiind determinate cu ajutorul curbelor retardației medii a undei reflectate (fig. 27-17, găsită în toate *tablele loran)*. De exemplu, considerăm stația principală A la distanța de 350 Mm, iar cea secundară B, la 700 Mm, pe timpul nopții; în acest caz $E_A = 94$ μs, iar $E_B = 62$ μs, deci $C = 94 - 62 = + 32$ μs.

De asemenea, corecția undei reflectate C se poate obține și din *tabela corecției undei reflectate (skywave correction)*, conținută în *tablele loran* pentru fiecare

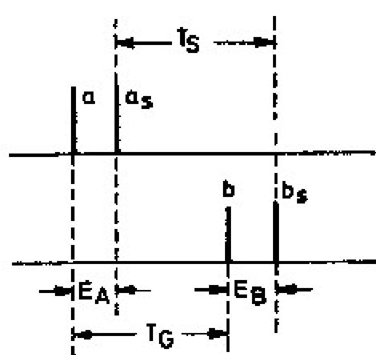


Fig. 27-18

pereche de stații, în funcție de latitudinea și longitudinea locului; în această tablă se indică și semnul algebric de aplicat.

Exemplu. În ziua de 12 mai 1975 la ora 22.30 se citește la perechea de stații *M-SL4-X*... $T_S = 13173.4$; punctul estimat al navei $\varphi e = 26°15'N$; $\lambda e = 31°00'E$. Se cere T_G.

Tabelul (27-1) reprezintă un extras din tabla corecției undei reflectate.

Tabelul 27-1

SKYWAVE CORRECTION **SL4-X**

	Nighttime (h = 91 Km)						
	Longitude 30° *E* to 44°						
	30°	31°	32°	33°	......	44°	
Lat. north.							
	SUBTRACT						
27°	7.6	6.1	4,8	3.8			27°
26	7.1	5.7	4.5	3.5			26
25	6.4	5.1	4.1	3.3			25

Rezolvare:

$$\begin{array}{r} T_S = 13173.4\ \mu s \\ +\ C = -\quad 5.8\ \mu s \\ \hline T_G = 13167.6\ \mu s \end{array}$$

Corecția undei reflectate este redată și în hărțile loran.

§6 Determinarea punctului navei

Punctul loran se determină prin intersecția a două sau mai multe linii de poziție hiperbolice loran; problema se rezolvă grafic pe *hărți loran* sau cu *tablele loran.*

1 Determinarea punctului navei pe harta loran

Harta loran *(loran chart)* este reprezentarea în proiecție Mercator a familiilor de hiperbole sferice determinate de diferitele perechi de stații existente în zonă. Pentru facilitarea identificării liniilor de poziție, fiecare familie de hiperbole este redată într-o anumită culoare; de asemenea, fiecare hiperbolă are înscris indicele distinctiv,

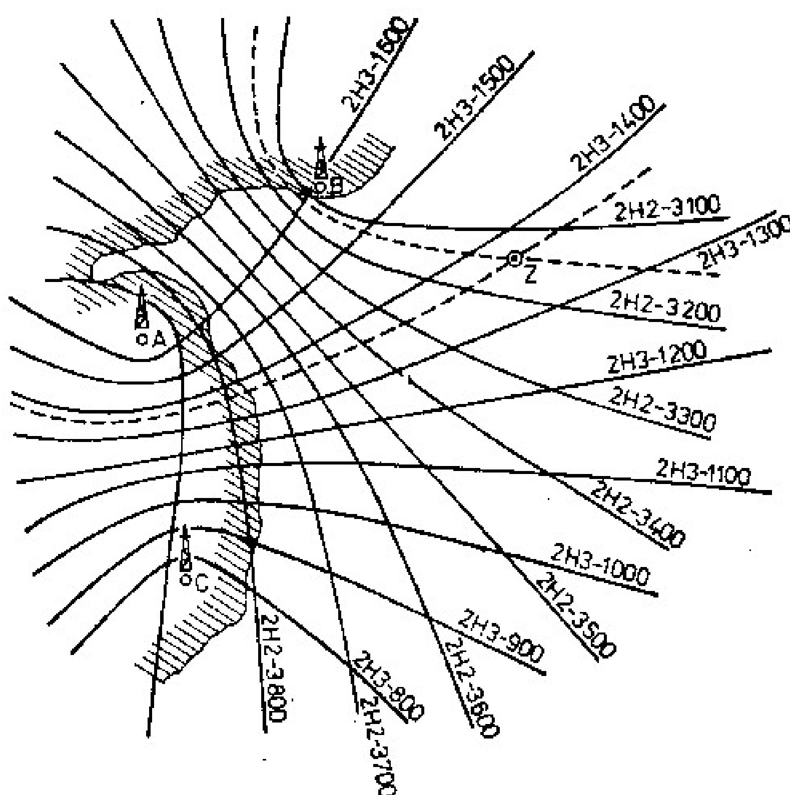


Fig. 27-19

în culoarea familiei din care face parte, în mod diferit pentru sistemul loran *A* și respectiv loran *C*, așa cum s-a arătat mai sus la §3 și §4.

Hărţile loran, publicate de către Oficiile Hidrografice ale U.S.A. şi Angliei, se procură de către navele comerciale de la depozitele de hărţi din porturile principale, ca orice hartă marină.

Hiperbolele sferice reprezentate în harta loran corespund diferenţelor de timp T_G pentru recepţia semnalelor undelor directe. În diferitele părţi ale hărţii sunt trecute valorile şi semnul corecţiei pentru unda reflectată, separat pentru fiecare pereche de staţii din zona reprezentată, cu următoarele notaţii: D = ziua *(day)*, înălţimea ionosferei (stratul *E*) de 73 Km; N = noaptea *(night)*, înălţimea ionosferei (stratul *E*) de 91 Km.

În funcţie de scara hărţii, liniile hiperbolice sunt trasate la intervale de 20, 100 sau 200 µs; liniile de poziţie de diferenţe de timp T_G altele decât cele trasate în hartă se determină prin interpolare grafică. Astfel, în figura 27-19, punctul loran se determină prin intersecţia liniilor de poziţie: T_G = 3150 µs la perechea de staţii 2*H*2; T_G = 1367 µs la perechea de staţii 2*H*3.

În cazul executării unor citiri T_S la semnalele undelor reflectate, acestea trebuie convertite mai întâi în citirile T_G corespunzătoare, prin aplicarea corecţiei C pentru unde reflectate, după care se procedează la identificarea liniilor de poziţie.

La determinarea punctului loran cu două observaţii, intersecţia optimă a hiperbolelor este de 90°, iar în cazul a trei observaţii, de 60° sau 120°; se recomandă evitarea unor intersecţii mai mici de 30°.

Hărţile loran nu conţin sondaje sau alte detalii necesare în navigaţie şi nu sunt corectate după *avizele pentru navigatori;* de aceea, ele se utilizează numai pentru determinarea punctului navei prin intersecţia liniilor de poziţie hiperbolice, după care poziţia obţinută se trece în harta de navigaţie.

2 Determinarea punctului navei cu tablele loran

Considerăm lanţul de staţii *M, X, Y* (fig. 27-20). Punctul estimat al navei este *Ze;* citirile diferenţelor de timp arată că nava se află pe hiperbolele *pp′* şi *mm′*.

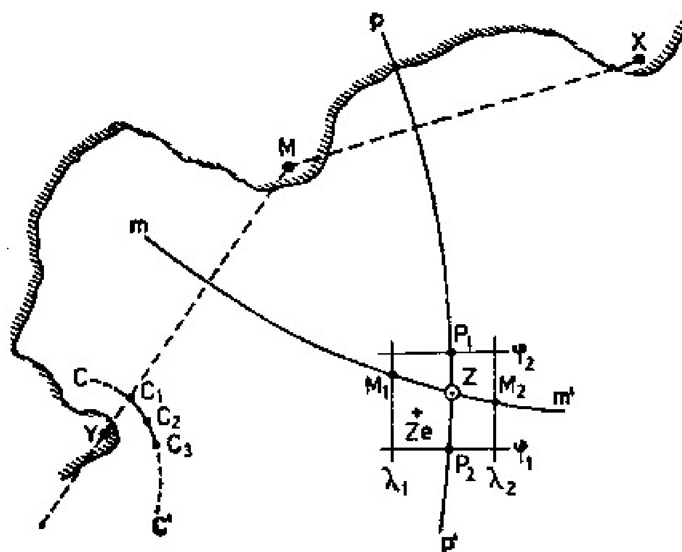


Fig. 27-20

Tablele loran (loran tables), întocmite pentru fiecare pereche de staţii conţin coordonatele punctelor de intersecţie P_1, P_2 şi M_1, M_2 ale hiperbolelor cu paralele de latitudine φ_1, φ_2 şi cu meridianele de longitudine λ_1, λ_2 – care încadrează punctul

estimat al navei *Ze*. Se trec punctele P_1, P_2 și M_1, M_2 pe harta Mercator de navigație, cu ajutorul coordonatelor scoase din tablele loran ale perechilor de stații observate: punctul loran *Z* se obține prin intersecția arcelor loxodromice P_1, P_2 și M_1 M_2.

Argumentul de intrare în table pentru obținerea coordonatelor punctelor de intersecție P_1 P_2, sau M_1 M_2 este citirea diferenței de timp T_G, la semnalele undei directe. Fiecare hiperbolă, funcție de orientarea ei în apropierea punctului navei, intersectează pralelele φ_1, φ_2 sau meridianele λ_1, λ_2.

Tablele loran sunt întocmite pentru fiecare pereche de stații și conțin coordonatele punctelor de intersecție ale hiperbolelor cu paralelele sau cu meridianele, funcție de orientarea liniei de poziție; hiperbolele luate în considerație la întocmirea tablei sunt determinate de diferențele de timp *T (tabulated readings)*, din 10 în 10 microsecunde.

Astfel, tabelul 27-2 redă un extras din tabla loran *C* a perechii de stații *M-SL 4-X;* el conține latitudinile *(L)* punctelor de intersecție ale hiperbolelor de diferență de timp *T* de 13430 µs și 13440 µs cu meridianele de longitudine 25°E și 26°E.

SL4-X **Tabelul 27-2**

T	13420		13430		13440		13450		*T*
Lat.	L	Δ	L	Δ	L	Δ	L	Δ	Long.
			33 54.3N	+15	33 55.8N	+15			25°E
			33 49.4	16	33 51.0	16			26

Tabelul 27-3 redă un extras din tabla loran *C* a perechii de stații *M-SL* 4-*Y;* el conține longitudinile *(Lo.)* punctelor de intersecție ale hiperbolelor de diferență de timp *T* de 31870 µs cu paralelele de latitudine 34°N și 33°N.

SL4-Y **Tabelul 27-3**

T	31860		31870		31880		31890		*T*
Lat.	Lo.	Δ	Lo.	Δ	Lo.	Δ		Δ	Long.
34° N			25 10.4E	−18	25 08.6E	−18			
33			25 33.5	20	25 31.5	20			

Tabelul 27-2 arată că hiperbola determinată de diferența de timp T_G = 13440 µs dintre semnalele perechii de stații *M-SL4-X* are o orientare generală est-vest, care intersectează meridianul λ_1 = 25°E în latitudinea φ_1 = 33°55′.8N, iar meridianul λ_2 = 26°E la latitudinea φ_2 = 33°51′.0N.

Hiperbola determinată de diferența de timp T_G = 31880 µs (tabelul 27-3) dintre momentele recepției semnalelor la perechea de stații *M-SL4-Y* are o orientare generală nord-sud, care intersectează paralelul φ_1 = 34°N în longitudinea λ_1 = 25°08′.6E, iar paralelul φ_2 = 33°N în longitudinea λ_2 = 25°31′.5E.

Prin procedeul grafic aplicat la determinarea punctului loran (fig. 27-20), arcele hiperbolice P_1, P_2 și M_1, M_2, în proiecția Mercator a hărții de navigație, sunt înlocuite prin segmentele loxodromice corespunzătoare, numite *drepte loran.* Pentru

ca eroarea acestei substituiri să nu influențeze în mod sensibil precizia punctului loran, tablele oferă posibilitatea rezolvării problemei de poziție, astfel:

– în zonele familiei de hiperbole a perechii de stații unde curbura liniilor de poziție nu este mare, tablele loran dau coordonatele punctelor de intersecție ale hiperbolelor (din 10 m în 10 μs) cu paralelele și respectiv cu meridianele separate de intervale de 1° (ca în tabelele 27-2 și 27-3);

– în apropierea stațiilor de emisie, unde curbura hiperbolelor este evidentă, tablele conțin coordonatele punctelor de intersecție ale acestora cu paralelele și meridianele separate de intervale de 30′ sau 15′;

– la distanțe mai mici de 20 Mm de o stație de emisie, curbura hiperbolelor este excesivă și substituirea arcelor hiperbolice cu segmentele loxodromice corespunzătoare poate introduce erori apreciabile. În acest caz, se determină cu tablele loran coordonatele a trei puncte consecutive C_1, C_2, C_3 care se trec pe harta de navigație; se trasează apoi arcul hiperbolic al liniei de poziție C_1, C_2, C_3, ținând seama de pozițiile celor trei puncte.

Mărimile Δ înscrise în table pe coloana diferențelor de timp T, multiplu de 10 μs, reprezintă variația latitudinii sau longitudinii pentru o diferență de 1 μs; Δ este exprimat în sutimi de minut arc și servește la interpolarea coordonatelor punctelor de intersecție P_1, P_2, ..., M_1, M_2, ..., pentru diferența algebrică $T_G - T$. Interpolarea se face în funcție de mărimile T cele mai apropiate de T_G. Diferențele de coordonate Δφ sau Δλ se obțin din produsul algebric: $((T_G - T)$. Δ, în care ambii factori intră în calcul cu semnul algebric propriu.

Exemplu. În ziua de 3 iulie 1975 la ora 11.30 punctul estimat al navei este φe = 33°50′N; λe = 25°20′E. Pentru determinarea punctului navei se fac următoarele observații:

– ora 11.30 la perechea de stații *M-SL4*-X ... T_G = 13443 μs;

– ora 11.30 la perechea de stații *M-SL4-Y* ... T_G = 31878 μs;

Se cere punctul navei cu cele două linii de poziție loran.

Rezolvare:

a - Perechea de stații M-SL4-X --- T_G = 13443 μs:

	Long.	Lat.φ_T (din tablă)	Δ	$(TG - T)$ x Δ = Δφ	$\varphi = \varphi_T + \Delta\varphi$
T = 13440	25°E	33°55′.8N	+0′.15	(+3) x (+0.15) = +0′.5	33°56′.3N
T_G = 13443	26°E	33°51.0N	+0′.16	(+3) x (+0.16) = +0′.5	33°51′.5N
$T_G - T$ = +3					

b- Perechea de stații M-SL4-*Y* --- T_G = 31878 μs:

	Lat.	Long.λ_T (din tablă)	Δ	$(TG - T)$ x Δ = Δλ	$\lambda = \lambda_T + \Delta\lambda$
T = 31880	33°N	25°31′.5E	–0′.20	(–2) x (–0.20) = +0′.4	25°31′.9E
T_G = 31878	34°N	25°08.6E	–0′.18	(–2) x (–0.18) = +0′.4	25°09′.0E
$T_G - T$ = –2					

c – Observaţii privind modul de rezolvare:

– datele utilizate sunt conţinute în tabelele (27-2) şi (27-3), extrase din *tablele loran* ale perechilor de staţii loran *C* observate;

– intrarea în table se face pe coloana *T* (diferenţa de timp multiplu de 10 μs), cea mai apropiată de citirea T_G observată;

– φ_T şi λ_T sunt latitudinile şi respectiv longitudinile scoase din table în funcţie de diferenţa de timp *T* (multiplu de 10 μs), cea mai apropiată de citirea T_G.

Dacă observaţiile au fost făcute la semnale ale undei reflectate T_S, acestea se transformă mai întâi în citiri T_G, prin aplicarea corecţiei pentru unda reflectată *C*.

d – Determinarea punctului navei (fig. 27-21)

Din datele obţinute mai sus rezultă că punctele de intersecţie ale hiperbolei *SL4-X*-13443 sunt:

M_1 (λ = 25°E; φ = 33°56′.3 N) şi
M_2 (λ = 26°E; φ = 33°51′.5 N)

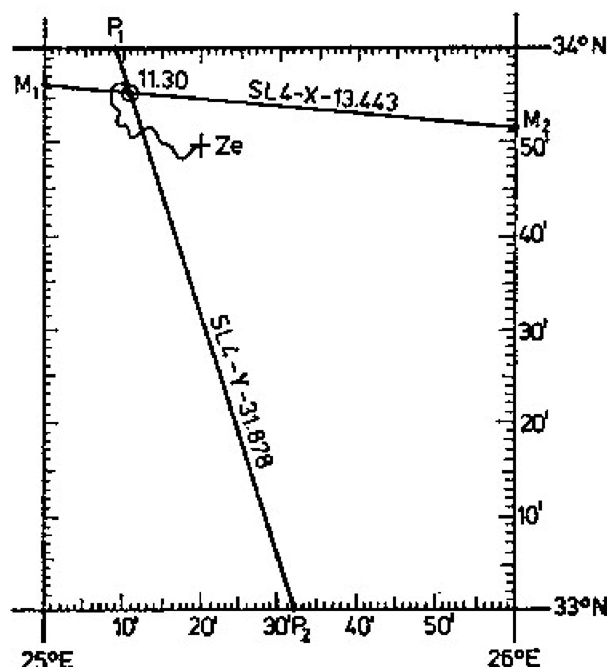


Fig. 27-21

Punctele de intersecţie ale hiperbolei *SL4-Y*-31878 sunt:

P_1 (φ = 34°N; λ = 25°09′.0E);
P_2 (φ = 33°N; λ = 25°31′.9E)

Se trasează segmentele loxodromice M_1M_2 şi P_1P_2 – şi la intersecţia lor se obţine *punctul loran* pentru ora 11.30, de coordonate:

φ = 33°55′.3N; λ = 25°11′.0E.

Problema se rezolvă pe harta de nevigație sau pe un grafic cu scara latitudinilor și longitudinilor, construit pentru zona închisă de paralelele 33°N, 34°N și meridianele 25°E, 26°E (vezi cap. 7, §5, pct.7), în cazul în care harta nu este la o scară suficient de precisă.

§7 Precizia liniei de poziție loran

Precizia liniei de poziție loran depinde în principal de acuratețea măsurării diferenței de timp T_G, poziția navei în raport cu cele două stații de emisie și de aproximația cu care se determină corecția *C*, în cazul folosirii semnalelor undei reflectate.

Considerăm stația principală *A* și cea secundară *B* pe suprafața sferei terestre, precum și linia de poziție hiperbolică *pp'*, definită de diferența de distanță $\Delta d = d' - d$ (fig. 27-22); *d* și *d' reprezintă distanțele la* A și *B* dintr-un punct oarecare Z al hiperbolei pp'.

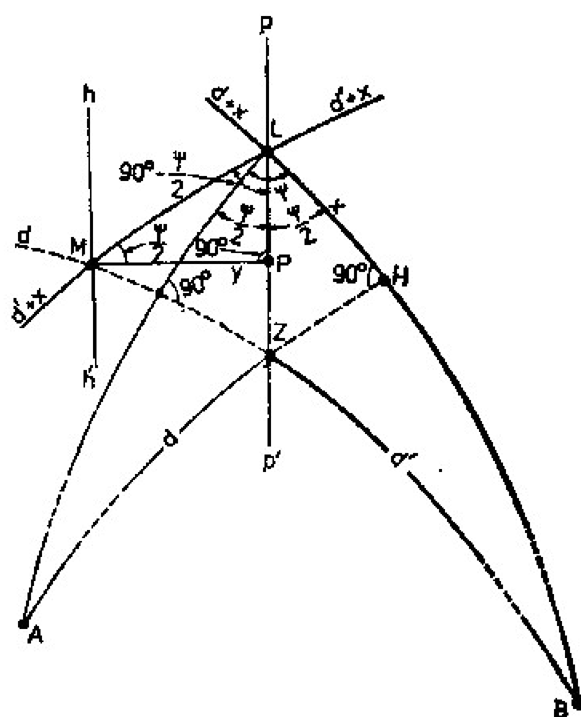


Fig. 27-22

Dacă distanțele la *A* și *B* sunt afectate de o eroare *x*, diferența lor $\Delta d' = \Delta d + x$ determină linia de poziție hiperbolică eronată *hh'*.

Punctul *L* al hiperbolei *pp'* este la distanța $d + x$ față de *A* și $d' + x$, de *B*. Punctul *M* al hiperbolei *hh'* se află la distanța *d* de *A* și $d' + x$, de *B*. Distanța minimă $MP = Y$ dintre *hh'* și *pp'* reprezintă abaterea liniei de poziție cauzată de eroarea *x*.

În triunghiul sferic LZH, dreptunghic în H şi considerat plan deoarece x este mic, $\sphericalangle ZLH = \frac{\Psi}{2}$ deoarece hiperbola pp' este bisectoarea $\sphericalangle ALB = \Psi$, sub care se vede linia de bază AB din L. În acest triunghi:

$$\overline{ZL} = \overline{LH} \sec \frac{\Psi}{2} \tag{27-5}$$

Din triunghiul MPL, considerat plan din acelaşi motiv, dreptunghic, în P, obţinut prin ducerea bisectoarei MP în triunghiul isoscel ZML, rezultă:

$$\overline{LP} = \overline{MP} \operatorname{tg} \frac{\Psi}{2}$$

şi deoarece $\overline{ZL} = 2\overline{LP}$:

$$\overline{ZL} = 2\overline{LP} \operatorname{tg} \frac{\Psi}{2} \quad (27\text{-}6$$

Făcând egalitatea membrilor din dreapta din relaţiile (27-5 şi (27-6), se obţin:

$$\overline{MP} = \frac{1}{2}\overline{LH} \operatorname{cosec} \frac{\Psi}{2}$$

Însă $\overline{LH} = x$, iar $\overline{MP} = Y$, deci

$$Y = \frac{x}{2} \operatorname{cosec} \frac{\Psi}{2} \tag{27-7}$$

Exprimând eroarea x în microsecunde, cu valori pozitive sau negative, abaterea liniei de poziţie eronate în mile marine este:

$$Y(\text{Mm}) = \pm\, 0.081\, x\, (\mu s) \operatorname{cosec} \frac{\Psi}{2} \tag{27-8}$$

în care viteza de propagare a radioundelor se consideră de 162 000 Mm/s.

Eroarea Y reprezintă deci abaterea liniei de poziţie paralel cu ea însăşi, exprimată în mile marine, determinată de eroarea x în măsurarea diferenţei de timp, în microsecunde şi de unghiul Ψ sub care se vede linia de bază a perechii de staţii din punctul navei.

Relaţia (27-8) arată că, la aceeaşi eroare x în măsurarea diferenţei de timp la o pereche de staţii A şi B, eroarea Y a liniei de poziţie variază invers cu unghiul sub care se vede linia de bază AB; eroarea Y este cu atât mai mare cu cât nava este mai aproape de extinderile liniei de bază, deoarece Ψ tinde către zero şi cu atât mai mică cu cât nava este mai aproape de linia de bază, unde Ψ tinde către 180°. De aceea, ţinând seama de precizia liniei de poziţie, se spune că *sensibilitatea familiei de hiperbole* este maximă de-a lungul liniei de bază, descreşte pe măsura depărtării de aceasta şi devine minimă pe extinderile liniei de bază.

Eroarea x a diferenţei de timp la semnalele undei directe este funcţie în principal de: acurateţea sincronizării receptorului loran cu frecvenţa de repetiţie a impulsurilor perechii de staţii observate, condiţiile de propagare şi precizia operaţiilor de măsurare şi citire a diferenţei de timp. În cazul observării semnelor undei reflectate, eroarea x poate fi apreciabil influenţată de corecţia C, care poate avea diferenţe însemnate faţă de valorile date în table datorită variaţiei altitudinii stratului E al ionosferei.

Diferențele în viteza de propagare a undei, față de cele luate în calcul pentru trasarea hiperbolelor pe hărțile loran, determină erori sistematice ce cauzează o deplasare paralelă a liniilor de poziție. Asemenea situații apar îndeosebi când unda de la o stație din perechea observată se propagă deasupra mării, iar de la cealaltă – parțial deasupra uscatului.

La o eroare $x = \pm 1$ μs, abaterea y a liniei de poziție este de 0.083 Mm când nava se află pe linia de bază a perechii de stații observate și de 2 Mm, dacă nava se află pe una din extinderile liniei de bază, la mică distanță de una din stații; la distanțe apreciabile de stație, abaterea Y poate lua valori de peste 10 Mm.

Eroarea corecției C a undei reflectate, datorită variației altitudinii stratului E al ionosferei, poate lua valori maxime de ± 3 μs la distanțe mai mari de 700 Mm de linia de bază; ea poate fi afectată de erori considerabile pe măsura apropierii de linia de bază.

Raportul $f = \frac{y}{x}$ dintre abaterea y a liniei de poziție către eroarea x în măsurarea diferenței de timp se numește *factorul de expansiune al erorii;* relația care îl exprimă se poate obține din egalitatea (27-7):

$$f = \frac{1}{2} \operatorname{cosec} \frac{\Psi}{2} \qquad (27\text{-}9)$$

Liniile de egal factor de expansiune sunt cercuri care au linia de bază drept coardă comună, numite *curbe de egală precizie* (27-23).

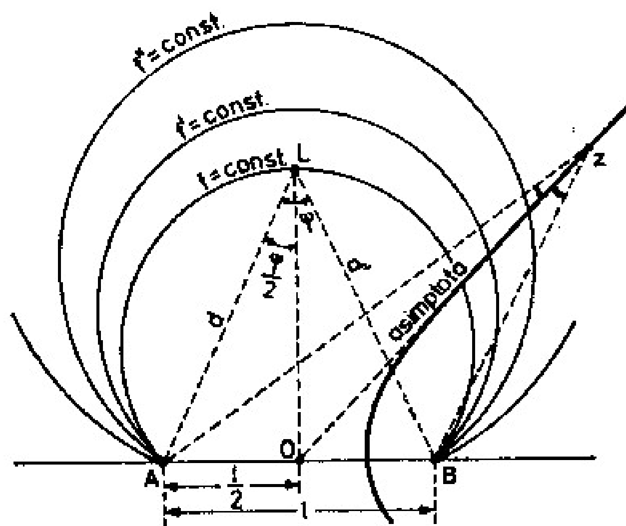


Fig. 27-23

Dacă l reprezintă lungimea liniei de bază AB și receptorul loran se consideră în L, de unde aceasta se vede sub unghiul Ψ, din triunghiul dreptunghic AOL se obține:

$$\sin\frac{\Psi}{2} = \frac{\frac{l}{2}}{d} \text{ sau } \operatorname{cosec}\frac{\Psi}{2} = \frac{2d}{l}$$

pe care introducând-o în relația (27-9) rezultă:

$$f = \frac{d}{l} \tag{27-10}$$

formulă care exprimă factorul de expansiune în funcție de distanța la stația A și de lungimea liniei de bază.

Curbele de egală precizie sunt arce capabile de unghiul sub care se vede linia de bază. Dacă se cunoaște lungimea liniei de bază și distanța la stația cea mai apropiată a perechii observate, se poate determina factorul de expansiune al erorii f prin aplicarea formulei (27-10) și astfel este posibilă stabilirea gradului de precizie al liniei de poziție.

La distanțe apreciabile în raport cu lungimea liniei de bază, hiperbolele devin asimptotice, tinzând spre dreptele ce converg către centrul 0 al sistemului. În aplicarea sistemelor hiperbolice de navigație, liniile de poziție se folosesc la distanțe care nu depășesc de regulă de 6 ori lungimea liniei de bază; în afara acestei limite, se

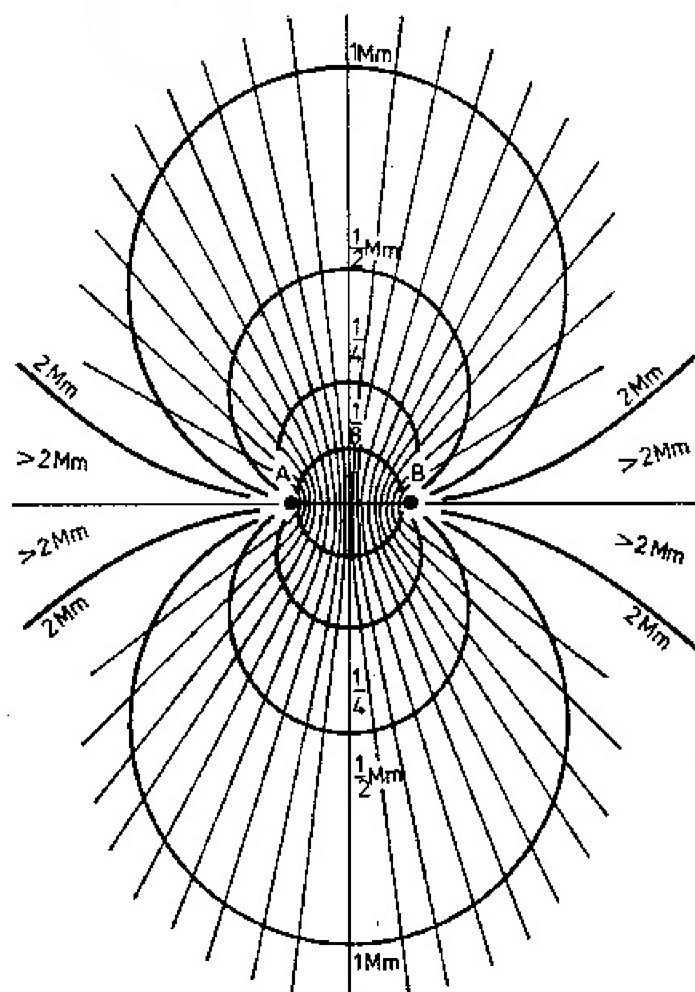


Fig. 27-24

spune că sistemul hiperbolic este de tip "degenerat", în care este utilizabilă numai partea asimptotică a liniilor de poziție.

Figura 27-24 reprezintă aria acoperită de o pereche de stații loran, împărțită în mai multe zone prin trasarea a o serie de curbe de egală precizie, corespunzătoare la un factor de precizie, în mile marine, pentru eroarea de 1 μs în diferența de timp.

Aceasta arată că în zona închisă de cercul cu diametrul *AB*, egal cu lungimea liniei de bază, abaterea liniei de poziție *y* provocată de eroarea $x = \pm 1$ μs în diferența de timp este mai mică de $\frac{1}{8}$ Mm. Eroarea *y* crește pe măsura depărtării de linia de bază și a apropierii de extinderile liniei de bază, menținându-se însă sub 1 Mm pentru circa 70% din aria acoperită de bătaia perechii de stații. Întinderea acestor zone depinde desigur și de lungimea liniei de bază.

§8 Precizia punctului loran

Precizia punctului loran obținut prin intersecția a două linii de poziție este funcție de acuratețea acestora și de unghiul de intersecție dintre ele.

Considerăm că s-au măsurat diferențele de timp la două perechi de stații, care definesc liniile de poziție *pp'* și *ll'* (fig. 27-25); dacă cele două observații sunt afectate de erorile $\pm x$ și respectiv $\pm x'$, înseamnă că liniile de poziție sunt afectate de erorile $\pm y$ și, respectiv, $\pm y'$. Fiecare observație în parte nu mai definește o linie de poziție, ci o *fâșie de poziție*, de lățime $2y$ și respectiv $2y'$; intersecția lor determină *paralelogramul de incertitudine CDEF*, eroarea maximă e_{max} a *punctului loran Z* în acest caz fiind exprimată de semidiagonala mare $\overline{ZF}$.

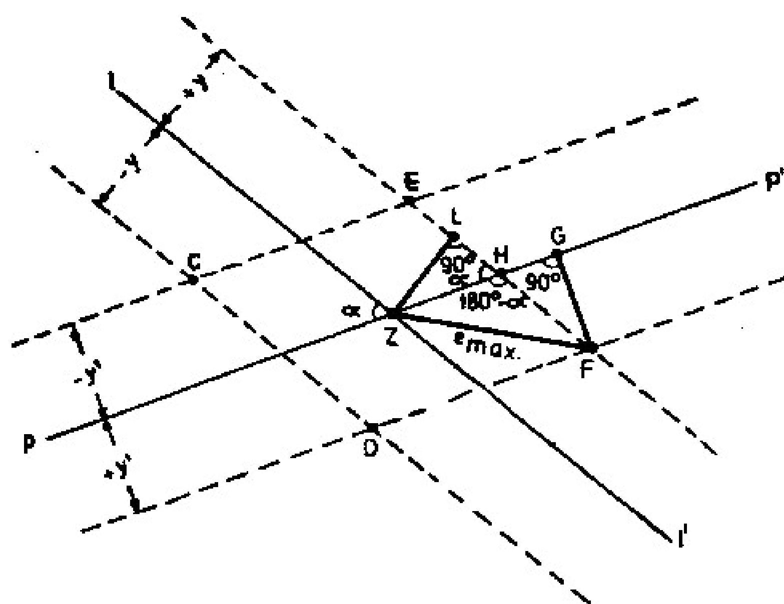


Fig. 27-25

Dacă notăm unghiul de intersecție a liniilor de poziție cu α, din triunghiul dreptunghic *ZLH* se obține:

$$\overline{ZH} = \overline{ZL} \operatorname{cosec} \alpha, \quad (27\text{-}11)$$

iar din triunghiul dreptunghic *HGF:*

$$\overline{HF} = \overline{GF} \operatorname{cosec} \alpha \quad (27\text{-}12)$$

Aplicând teorema lui Carnot în triunghiul *ZHF*, se obține semidiagonala mare:

$$\overline{ZF} = \sqrt{\overline{ZH}^2 + \overline{HF}^2 + 2\overline{ZH}.HF\cos\alpha} \qquad (27\text{-}13)$$

Însă $\overline{ZF} = e_{max}$, $\overline{ZL} = y$ și $\overline{GF} = y'$; făcând aceste substituții și introducând egalitățile (27-11) și (27-12) în (27-13) rezultă:

$$e_{max} = \text{cosec}\,\alpha\,\sqrt{y^2 + y'^2 + 2yy'\cos\alpha} \qquad (27\text{-}14)$$

care arată că, la aceleași erori y și y' ale liniilor de poziție, eroarea punctului loran este minimă când unghiul de intersecție al acestora este de 90°. Stațiile unui lanț loran sunt astfel amplasate, ca în aria acoperită de bătaia lor, unghiul de intersecție a două hiperbole să fie mai mare de 30°.

În condițiile date, admițând că liniile de poziție sunt afectate de erorile y și respectiv y' iar α unghiul de intersecție, poziția cea mai probabilă a navei se consideră în interiorul paralelogramului *CDEF*.

Precizia punctului loran A

În cazul recepției impusurilor unei directe, eroarea de sincronizare a receptorului și de măsurarea a diferențelor de timp, pentru un operator cu calități medi, eroarea x poate lua valori în limitele de ± 2 la 3 μs; erorile de observație se reduc considerabil la receptoarele loran *A* cu control automat al măsurării și afișării diferențelor de timp. La valoarea lui x se adaugă și o eroare medie de ± 2 μs în trasarea hiperbolelor pe hartă, rezultând astfel o eroare totală a unei linii de poziție de ± 4 la 5 μs. Prin intersecția a două linii de poziție, afectate de o asemenea eroare, în cazul în care nava se află la circa 250 Mm de stația principală, punctul loran realizează o precizie de ± 1.25 Mm.

În cazul obsrvării semnalelor undei reflectate, precizia este considerabil inferioară. Experimentările făcute arată că erorile de măsurare a diferenței de timp pot lua valori de la ± 2 μs la ± 15 μs, cu o astfel de împrăștiere că valoarea medie este de circa ± 5 μs. La aceasta se adaugă o eroare medie de ± 2 la 3 μs în corecția *C* a undei reflectate și circa ± 2 μs în trasarea hiperbolelor pe hartă, rezultând deci o eroare medie totală de cca ± 10 μs; la bătaiai undelor reflectate de perechile de stații și în situația undei intersecției favorabile a liniilor de poziție, eroarea medie a punctului loran poate lua valori de ± 10 la 15 Mm.

Este evident că o asemenea poziție nu poate prezenta decât o valoare orientativă în navigație și nu se va face uz de observații la semnalele undei reflectate decât în situații în care nu se pot aplica alte procedee de determinare a punctului navei.

Precizia punctului loran C

Considerând că receptorul loran *C* execută automat măsurarea și afișarea diferențelor de timp la perechile de stații observate, eroarea de observație x poate lua valori medii de ± 0.4 μs. Prin intersecția a două linii de poziție afectate de această

eroare medie, sub un unghi favorabil de intersecție, eroarea punctului loran este de ± 120 metri când stația princială se află la distanța de 350 Mm de navă și de ± 330 metri, la distanța de 750 Mm. Precizia sistemului loran *C* este deci evident superioare. Experiențele efectuate arată că în condiții nefavorabile de observație, la distanța de 1 000 Mm de stația principală, eroarea punctului nu depășește ± 4 Mm.

În cazul observațiilor la semnalele undelor reflectate, eroarea punctul poate fi de ± 10 Mm, la distanța de circa 1 500 mm de stația principală, de asemenea cu valoare doar orientativă în navigație.

28 SISTEMUL DECCA

§ Generalități

Principiul sistemului decca a fost fundamentat în anul 1937; el a fost realizat în Anglia, în perioada celui de al doilea război mondial și aplicat pentru prima dată pe scară largă în anul 1944, la debarcarea Aliaților în Normandia. Primul lanț de stații decca pentru uzul general al navigației a început să funcționeze în anul 1946, în sud-estul Angliei. În prezent, prin lanțul de stații aflate în funcție, sistemul decca acoperă întreaga coastă de vest a Europei, a Mării Baltice, coastele de est și vest ale Americii de Nord, Golful Persic, coastele de est și vest ale Indiei în zonele Calcutta și Bombay, insulele Japoniei, precum și coasta de nord-vest a Australiei. Dat fiind eficiența sistemului, o serie de noi lanțuri de stații decca se află în construcție sau sunt în proiect.

Sistemul decca este un sistem hiperbolic de radiolocație, care folosește emisia continuă de unde electromagnetice de către un lanț de patru stații, una *principală (master)* și trei *secundare (slaves),* de regulă dispuse în formă de stea (cu stația principală în centru), lungimea liniilor de bază variind între 60 și 120 Mm.

Folosește banda de frecvențe joase cuprinsă între 70 și 130 kHz, bătaia undei directe fiind de circa 24 Mm de stația principală.

Linia de poziție hiperbolică decca este diferită de locul punctelor de egală diferență de fază a semnalelor recepționate la bord; măsurarea diferenței de fază se efectuează *automat* și *continuu* cu fazmetrele („decometrele") *receptorului decca.* Aplicarea sistemului de către navigator este extrem de simplă: după reglarea receptorului, care se limitează la câteva operații, se citesc indicațiile decometrelor, ce servesc apoi la identificarea liniilor de poziție trasate pe hărțile decca; la intersecția a două linii de poziție se obține poziția navei, numit *punct decca.* Determinarea punctului decca se poate face continuu, atâta timp cât nava se află în bătaia unui lanț de stații.

Rețelele hiperbolice decca sunt reprezentate pe hărți marine în proiecție Mercator, în trei culori, care dau și denumirea celor trei stații secundare ce determină fiecare familie de hiperbole în parte: *roșie (red), vede (green)* și *purpurie (purple);* identificarea liniilor de poziție se face cu ușurință după *indicele distinctiv* înscris pe fiecare hiperbolă, care reprezintă însăși citirea făcută la decometru.

Punctul decca este caracterizat printr-o înaltă precizie. Astfel, în apropierea liniei de bază a unei perechi de stații, precizia liniei de poziție decca poate fi de ordinul metrilor; desigur, așa cum se arată la §7, precizia punctului poate fi afectat totuși de o serie de erori sistematice și accidentale, ca la orice procedeu bazat pe observație, care rămân însă în limite ce plascază sistemul decca pe locul întâi în ierarhia criteriului de precizie a sistemelor actuale de navigație electronică. Pentru activități ce impun o precizie riguroasă, cum este cazul în hidrografie, cercetări

marine, amplasarea platformelor de foraj marin etc., sistemul decca prezintă variante de o precizie superioară, cum sunt *Dectra* şi *Hi-Fix;* varianta *Hi-Fix,* de exemplu, realizează o precizie de circa ± 0.9 m.

Trasorul automat de drum (trak plotter), accesoriu de mare utilitate al sistemului decca pentru anumite activităţi de navigaţie, prezintă continuu poziţia navei şi trasează automat *drumul deasupra fundului* parcurs de navă.

Faţă de performaneţele realizate, sistemul decca este plasat în rândul *mijloacelor electronice de navigaţie costieră şi pilotaj* (vezi cap. 26, §1).

§2 Linia de poziţie decca

Considerăm staţia principală *A* şi cea secundară *B,* care emit unde electromagnetice continue, în aceeaşi frecvenţă, riguros în fază, având deci la emisie diferenţa de fază zero; presupunem că linia de bază *AB* are o lungime *l,* multiplu întreg de lungimea de undă λ (fig. 28-1).

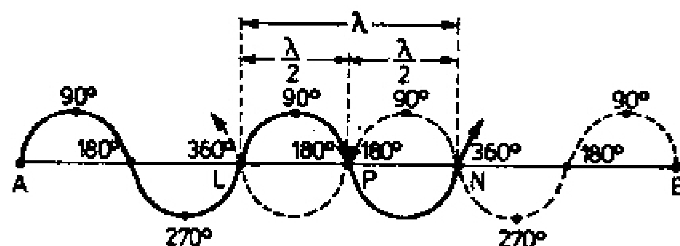


Fig. 28-1

În această situaţie, un receptor decca aflat la *P,* la jumătatea lungimii *l,* va recepţiona cele două unde emise de *A* şi *B* cu o diferenţă de fază zero, deoarece $PA - PB = 0$. În punctele *L* şi *N* situate la distanţa $\frac{\lambda}{2}$ de *P,* diferenţa de fază este de

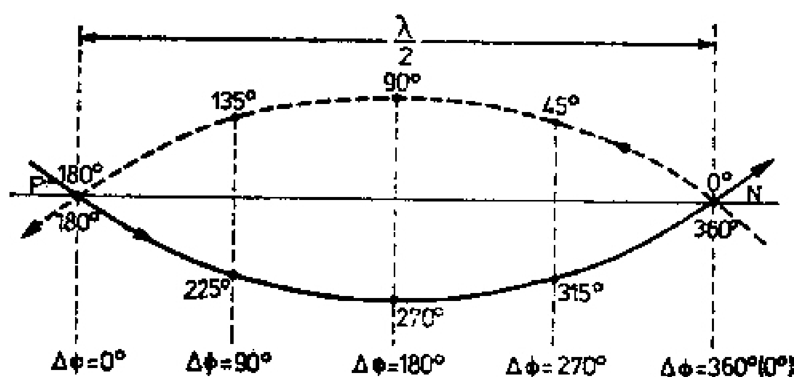


Fig. 28-2

asemenea zero; *punctele de diferenţă de fază zero de-a lungul liniei de bază se află la intervale egale cu jumătatea lungimii de undă.* În intervalul *PN,* cu o lungime egală cu $\frac{\lambda}{2}$, diferenţa de fază ΔΦ variază între 0° şi 360° (fig. 28-2).

În afara liniei de bază, locul punctelor de pe care se măsoară aceeași diferență de fază la cele două unde recepționate de la A și B este o hiperbolă (fig. 28-3), deoarece orice punct al acestei curbe are diferența distanțelor la cele două stații constantă (vezi cap. 27, §2).

Dacă receptorul decca se află în Z, pe linia centrală a sistemului, unde diferența de distanță $\Delta d = 0$, distanța d la A fiind egală cu distanța d' la B, diferența de fază $\Delta\Phi = 0$. Dacă receptorul se deplasează pe direcția ZW, în punctele Z_1, Z_2 etc., unde

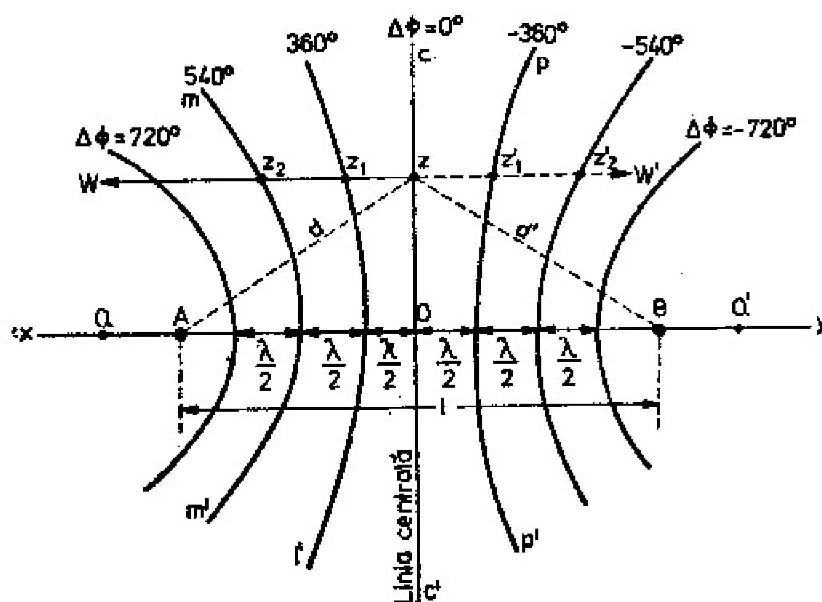


Fig. 28-3

diferența de distanță $\Delta d = d' - d$ este multiplu întreg de lungimea de undă λ, diferența de fază $\Delta\Phi$ ia succesiv valorile 360°, 540° etc., deci:

$$\Delta\Phi = \frac{360°}{\lambda} \cdot \Delta d \qquad (28\text{-}1)$$

formulă care reprezintă ecuația generală a familiei de hiperbole având focarele în A și B. În intervalele ZZ_1, Z_1Z_2 etc., diferența de fază a celor două unde variază între 0° și 360°.

Dacă receptorul se deplasează în sens opus, ZW', diferența de fază variază în sens negativ, de același semn cu Δd, deoarece $d' < d$.

În concluzie, dacă receptorul se deplasează din Z *spre* Q *și* Q'm diferența de fază crește de la zero, pe linia centrală, în sens pozitiv sau negativ, până la o valoare maximă de $\pm 360° \frac{l}{\lambda}$ de-a lungul extinderilor liniei de bază Ax sau By; așa cum s-a arătat la capitolul 27, §2, punctul 1, pe extinderile liniei de bază, de exemplu în punctele Q și Q' situate la aceeași distanță de A și respectiv, de B, diferența distanței la A și B este egală cu lungimea liniei de bază: $\Delta d = QB - QA = Q'A - Q'B = l$.

Când receptorul, în mișcare, indică aceeași diferență de fază, înseamnă că el se deplasează de-a lungul unei hiperbole.

Aria delimitată între două hiperbole de diferență de fază multiplu de 360°, ca, de exemplu, dintre ll' și mm', (se numește *culoar (lane)*. Variația diferenței de fază în

acelaşi culoar poate lua valori de la 0° la 360°, dacă receptorul se deplasează între hiperbolele limită ale acestuia.

Dispozitivul de măsurare a diferenţei de fază al receptorului deca, decometrul, indică doar valoarea acesteia, nu şi semnul; deci, la o valoare de 360° a diferenţei de fază, nava se poate afla deopotrivă pe linia de poziţie ll' sau pp', simetrice în raport cu linia centrală.

Ca şi la sistemul loran, în sistemul decca, ambiguitatea liniilor de poziţie în raport cu linia centrală se elimină prin modul de emisie.

Pentru aceasta, staţia secundară B emite cu o anumită defazare constantă faţă de cea principală A, funcţie de timpul necesar undei emise de A ca să parcurgă lungimea l a liniei de bază până în B. În acest caz, diferenţa de fază, în grade, este dată de relaţia:

$$\Delta\Phi = \frac{360°}{\lambda}(l + d - d') \qquad (28\text{-}2)$$

sau în funcţie de frecvenţa de emisie f şi viteza de propagare c a undei:

$$\Delta\Phi = \frac{360°}{c} f(l + d - d') \qquad (28\text{-}3)$$

Aceste expresii sunt întotdeauna pozitive, deoarece $l > d - d'$; în acest mod, ambiguitatea liniei de poziţie este eliminată.

Deplasând receptorul decca pe traseul QZQ' se observă:

– pe extinderea liniei de bază AX, de exemplu în Q, $\Delta\Phi = 0°$, deoarece $d' = l + d$;

– pe linia centrală, în Z, $\Delta\Phi = 360° = 360° \frac{1}{\lambda}$, deoarece $d = d'$;

– pe extinderea liniei de bază B_y, de exemplu în Q', $\Delta\Phi = 360° \frac{2l}{\lambda}$, deoarece $d = d' + l$.

Rezultă că, în acest mod de emisie, diferenţa de fază variază de la zero până la o valoare maximă de $360° \frac{2l}{\lambda}$, în întreaga arie acoperită de perechea de staţii, fiecare linie de poziţie având o diferenţă de fază distinctă.

Numărul culoarelor unei perechi de staţii este funcţie de lungimea liniei de bază şi de frecvenţa de emisie, respectiv de lungimea de undă corespunzătoare. Pe linia de bază, punctele de diferenţă de fază zero se află la intervale egale cu $\frac{\lambda}{2}$; deci numărul culoarelor n al unei perechi de staţii este $n = \frac{l}{\frac{\lambda}{2}} = \frac{2l}{\lambda}$

§3 Principiul emisiei şi recepţiei

În cele de mai sus, pentru facilitarea înţelegerii determinării liniilor de poziţie prin diferenţa de fază, s-a presupus că perechea de staţii emite în aceeaşi frecvenţă.

Practic, emisia celor două staţii în aceeaşi frecvenţă ar face imposibilă măsurarea diferenţei de fază; la recepţie cele două unde s-ar compune, dând naştere unei unde rezultate de o fază proprie. De asemenea, emisia în aceeaşi frecvenţă de către toate staţiile ar face imposibilă distingerea lor la recepţie.

Modul de emisie al stațiilor decca prezintă una din ingeniozitățile sistemului. Se stabilește o *frecvență de bază f*, cuprinsă între 14.00–14.33 kHz, aceeași pentru toate stațiile unui anumit lanț. *Stația principală (M, master)* emite în frecvența armonică $6f$; cele trei stații secundare, *roșie (R, red)*, *verde (G, green)*, și *purpurie (P, purple)* emit în frecvențele armonice de $8f$, $9f$ și respectiv $5f$.

Astfel, dacă stația principală emite în frecvența de 85 kHz, rezultă că frecvența de bază este $f = \frac{85}{6} = 14.166$ kHz; pentru acest caz, frecvențele de emisie și respectiv lungimile de undă la emisie ale stațiilor din lanțul *M*, *R*, *G* și *P* sunt cele redate în tabelul 28-1:

Tabelul 28-1

Stația	Armonica	Frecvența (kHz)	Lungimea de undă (m)
Principală (M)	6 f	85.000	3521
Roșie (R)	8 f	113.333	2640
Verde (G)	9 f	127.500	2347
Purpurie (P)	5 f	70.833	4225

Pentru elucidarea modului de lucru la emisie și recepție, vom analiza inițial doar perechea de stații *M* și *R* (fig. 28-4). Stația principală *M* radiază energie electromagnetică în frecvența de $6f = 85$ kHz, care este interceptată și de antena de

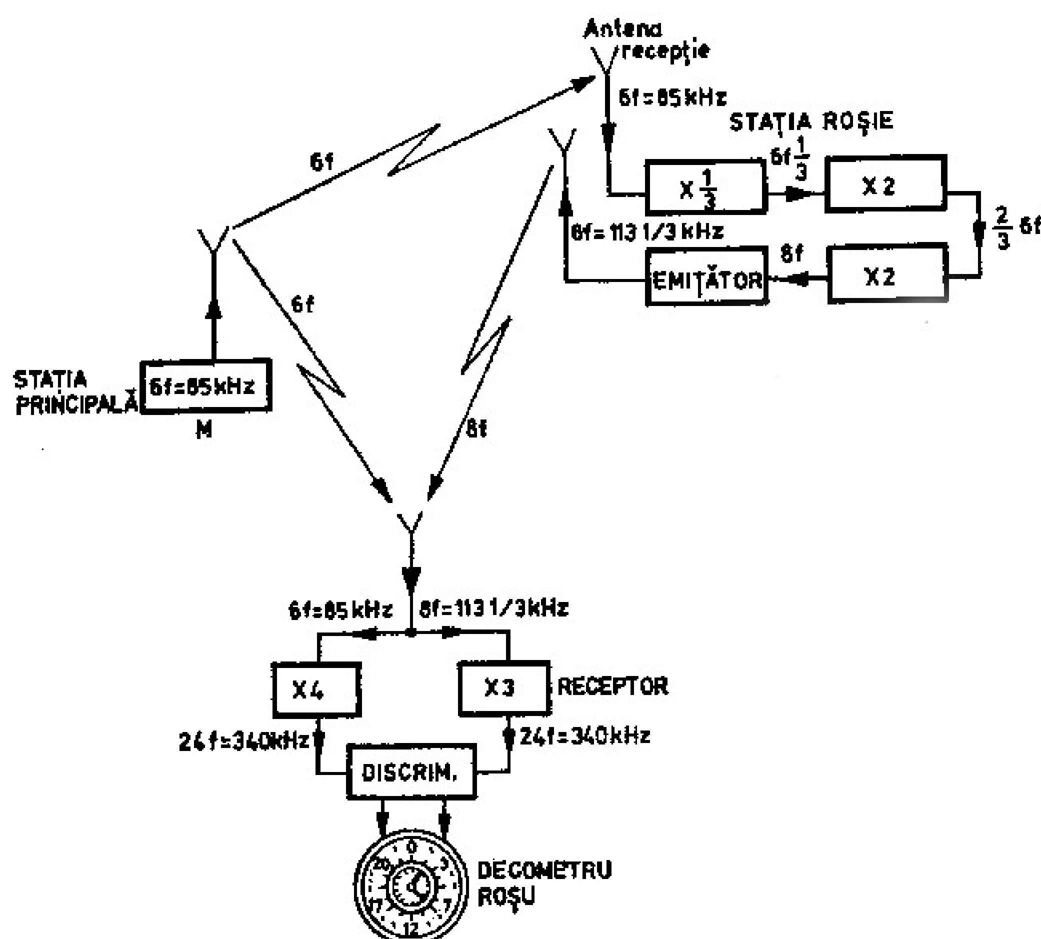


Fig. 28-4

recepţie a staţiei auxiliare roşii *R;* această frecvenţă este succesiv multiplicată prin factorii 1/3, 2 şi 2, cu care se alimentează apoi emiţătorul staţiei secundare. Acesta transmite deci în frecvenţa de: $6f \times 1/3 \times 2 \times 2 = 8f = 113\ 1/3$ kHz.

Receptorul decca de la bord recepţionează deci unda staţiei *M* în frecvenţa de $6f = 85$ kHz şi a staţiei *R* în $8f = 113\ 1/3$ kHz. Pentru a face posibilă măsurarea diferenţei de fază a celor două unde, este necesară convertirea lor într-o *frecvenţă de comparaţie (comparison frequency),* de aceeaşi valoare.

În acest scop, se folosesc proprietăţile selective ale circuitelor oscilante: undele sunt separate, amplificate şi apoi multiplicate. *Frecvenţa de comparaţie* este egală cu cel mai mic multiplu comun al *frecvenţelor de emisie;* în cazul staţiilor *M* şi *R,* frecvenţele armonice de emisie fiind $6f$ şi respectiv $8f$, rezultă ca factorii de multiplicare al celor două unde sunt 4 şi respectiv 3, iar frecvenţa de comparaţie este $6f \times 4 = 8f \times 3 = 24f = 340$ kHz.

Frecvenţa de comparaţie de $24f$ de la cele două staţii se transmite prin intermediul unui discriminator de fază la *decometrul roşu,* care măsoară şi afişează continuu diferenţa de fază. Modul de emisie, recepţie şi convertire a frecvenţelor asigur obţinerea diferenţei de fază ca şi când cele două staţii ar emite direct în frecvenţa de comparaţie.

Modul de convertire a frecvenţelor celor trei perechi de staţii ale lanţului *M, R, G* şi *P* este prezentat de schema bloc a receptorului decca (fig. 28-5).

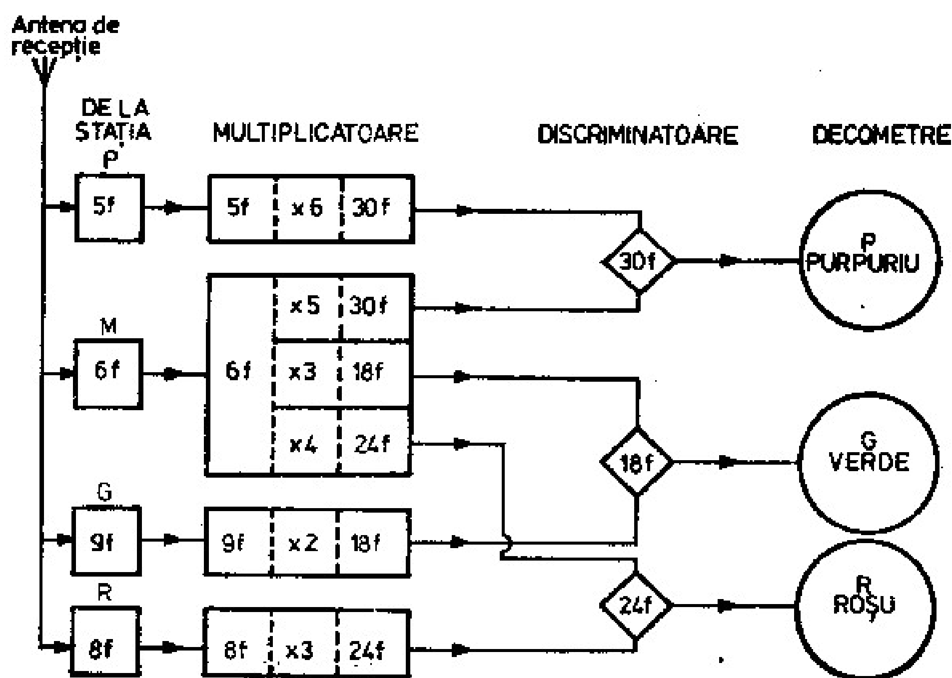


Fig. 28-5

Frecvenţa de comparaţie a perechii de staţii – principală *(M)* şi purpurie *(P)* este de $30f = 425$ kHz; cea a perechii de staţii – principală *M* şi verde *(G),* este de $18f = 225$ kHz. Tabelul 28-2 redă frecvenţele de comparaţie ale perechilor de staţii şi lungimile de undă corespunzătoare, considerând viteza de propagare a undei de 300 000 Km/s.

Tabelul 28-2

Perechea de stații	Armonica	Frecvența (kHz)	Lungimea de undă (m)
M – roșie	24 f	340	882
M – verde	18 f	225	1176
M – purpurie	30 f	425	706

Frecvența de comparație ale celor trei perechi de stații sunt transmise prin intermediul discriminatoarelor la decometrele corespunzătoare, roșu, verde și purpuriu, care măsoară și afișează continuu diferențele de fază.

§4 Rețeaua hiperbolică decca

Familiile de hiperbole determinate de cele trei perechi de stații ale unui lanț decca sunt reprezentate în culorile roșie, verde și purpurie, care dau și numele celor trei stații auxiliare. Pe hartă se trasează doar hiperbolele care reprezintă liniile de poziție a punctelor de recepție *în fază,* deci de diferență de față zero, numită *hiperbolele echifaze,* adică locurile geometrice ale punctelor a căror distanțe la cele două stații decca diferă cu un număr întreg de lungimi de undă (vezi fig. 28-16) ·

Două hiperbole echifaze consecutive ale aceleiași familii de hiperbole delimitează un *culoar (lane);* la deplasarea receptorului decca între cele două hiperbole limită ale unui culoar, diferența de fază a semnalelor primite de la o pereche de stații variază de la 0° la 360°. Punctele de intersecție ale celor două hiperbole limită ale aceluiași culoar cu linia de bază sunt separate de un spațiu egal cu jumătatea lungimii de undă corespunzătoare *frecvenței de comparație* a perechii de stații)gih. 28-3).

Lungimile de undă ale frecvențelor de comparație ale celor trei perechi de stații ale lanțului sunt redate în tabelul 28-2: 882 m, 1176 m și 706 m; lățimea culoarelor celor trei familii de hiperbole de-a lungul luniile de bază, egală cu $\frac{\lambda}{2}$, rezultă deci de: 441 m pentru hiperbolele roșii, 588 m pentru cele verzi și 353 m pentru hiperbolele purpurii.

Culoarele fiecărei familii sunt grupate în *zone (zone);* hiperbolele limită ale zonei de-a lungul liniei de bază se află la distanța D = 10584 m. Numărul de culoare ale zonelor celor trei familii de hiperbole se obțin astfel:

– zona roșie... $\frac{D}{\frac{\lambda}{2}} = \frac{10584}{441} = 24$ culoare roșii;

– zona verde... $\frac{D}{\frac{\lambda}{2}} = \frac{10584}{588} = 18$ culoare verzi;

– zona purpurie $\frac{D}{\frac{\lambda}{2}} = \frac{10584}{353} = 30$ culoare purpurii.

Se observă deci că numărul de culoare ale unei zone corespunde numărului armonic al frecvenței de comparație a perechilor de stații: $24f$ pentru perechea roșie, $18f$ pentru cea verde și $30f$ pentru cea purpurie.

Zonele fiecărei familii de hiperbole au indicele distinctiv format dintr-o literă: *A, B, C, ... J*, deci în total zece zone; rezultă că, zona de hiperbole roșii are 240 culoare, cea verde – 180 culoare și cea purpurie – 300 culoare. În cazul unor linii de bază deosebit de lungi, dacă este necesar, marcarea zonelor se reia în ordinea *A, B* etc. Astfel, de exemplu, dacă linia de bază a familiei de hiperbole roșii are 12 zone, zona a XI-a se marchează cu *A* (ca și prima), iar a XII-a cu *B* (ca și a doua); confuziile sunt excluse, pentru că cele două zone de același nume sunt situate la distanțe foarte mari. Asemenea linii de bază se întâlnesc însă extrem de rar.

Pentru facilitarea identificării culoarelor diferitelor familii de hiperbole, aflate în zona desemnată cu aceeași literă, acestea se numerotează în mod diferit, astfel:

– familia roșie, 24 culoare, numerotate de la 0 la 23;

– familia verde, 18 culoare, numerotate de la 30 la 47;

– familia purpurie, 30 culoare, numerotate de la 50 la 79.

Marcarea hiperbolelor echifaze ale unei familii în hărțile decca se face în succesiunea de la stația principală spre stația secundară. De exemplu, hiperbola B_{33} aparține: unei familii verzi, zona a doua de la stația principală, culoarul al patrulea.

§5 Măsurarea diferenței de fază. Decometre

Așa cum se vede în schema bloc a receptorului (fig. 28-5), frecvențele de comparație ale celor trei perechi de stații sunt transmise unor circuite discriminatoare; acestea compară fazele semnalelor de frecvență comună ale fiecărei perechi de stații și produc semnale electrice proporționale cu sinusul și cosinusul diferenței de fază, care după amplificare sunt transmise celor trei fazmetre ale receptorului decca, numite *decometre*, roșu, verde și purpuriu.

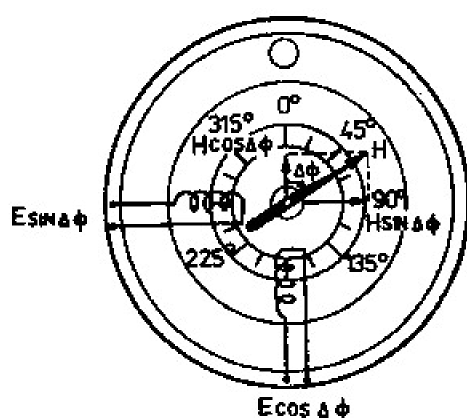


Fig. 28-6

Tensiunile $E \sin \Delta\Phi$ și $E \cos \Delta\Phi$ primite de fiecare decometru alimentează niște bobine de câmp fixe, reciproc perpendiculare, montate în interiorul acestuia (fig. 28-6), care produc două câmpuri magnetice de intensități $H \sin \Delta\Phi$ și respectiv $H \cos \Delta\Phi$, al căror câmp rezultat este H.

Unghiul dintre direcția vectorului H și poziția de echifază (0°) este egal cu diferența de fază $\Delta\Phi$. Câmpul magnetic H orientează un disc magnetic, rotorul decometrului, de al cărui ax este fixat indicatorul diferenței de fază; la deplasarea receptorului decca între hiperbolele limită ale aceluiași culoar, acest indicator execută o rotație completă, diferența de fază luând deci valori de la 0° la 360°. Dacă

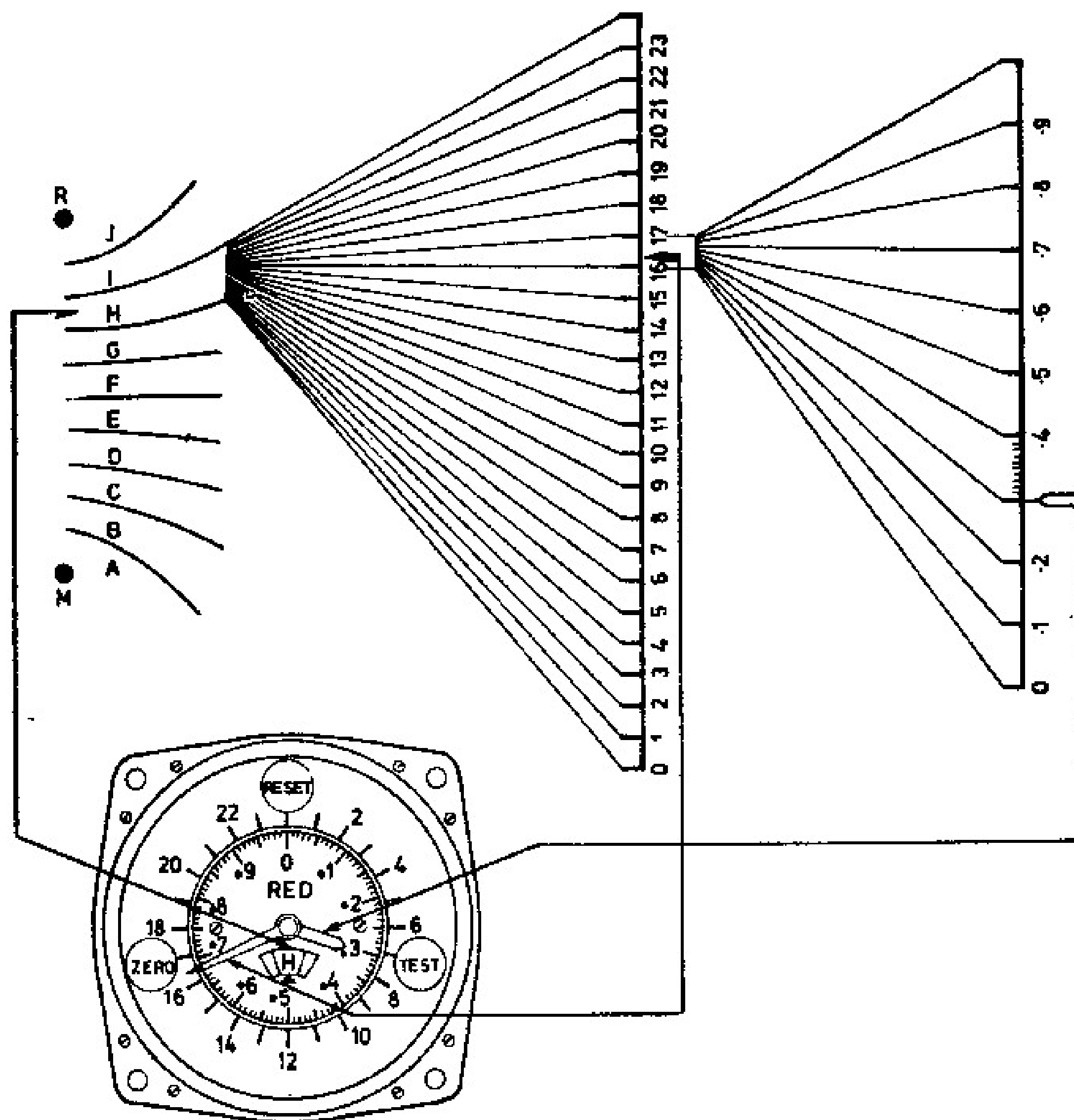


Fig. 28-7

receptorul își continuă deplasarea în culoarul alăturat, el repetă indicațiile de la 0° la 360° între hiperbolele limită ale acestuia, fără a avea însă posibilitatea să diferențieze citirile multiple de 360°.

Pentru definirea liniei de poziție determinată de o pereche de stații, la axul rotorului decometrului sunt cuplate trei indicatoare (fig. 28-7): *indicatorul fracțiunii de culoar, indicatorul de culoar* și *indicatorul de zonă.*

Figura 28-7 reprezintă cadranul decometrului roșu. *Indicatorul fracțiunilor de culoar (lane fractions pointer),* cel scurt, arată diferența de fază de la 0° la 360°, *exprimată în sutimi de culoar,* pe scara circulară interioară gradată de la 0° la 99°, care este aceeași la toate cele trei decometre; o sutime de culoar este deci 360°/100 =

3°.6, denumită *fracțiune de culoar (lane fraction).* În figura 28-7, decometrul roșu arată 30 de fracțiuni. Sensul rotației indicatorului depinde de drumul navei în raport cu perechea de stații; dacă nava se deplasează dinspre stația principală spre cea secundară, fracțiunile de culoar cresc și invers.

Indicatorul de culoar (lane indicator), cel lung, arată numărul culoarului familiei de hiperbole; în figura 28-7, decometrul indică culoarul 16 roșu. La o rotație completă a indicatorului fracțiunilor de culoar, indicatorul de culoar se deplasează cu o gradație.

Scările circulare indicatoare de culoar, cele exterioare, sunt numerotate în modul indicat la §4 pentru cele trei familii de hiperbole: de la 0 la 23 la decometrul roșu (fig. 28-7); de la 30 la 47 la decometrul verde; de la 50 la 79 la decometrul purpuriu.

La punerea în funcție a receptorului decca, indicatorul de culoar al fiecărui decometru se reglează manual (funcție de culoarul pe care se află nava) prin răsucirea butonului „RESET", aflat în partea superioară a cadranului acestuia, după care indicatorul asigură o urmărire automată, fiind angrenat la axul rotorului.

Indicatorul de zonă (zone indicator) constă dintr-un disc pe care sunt notate literele distinctive de zonă *A, B, C,..., J;* litera ce reprezintă zona în care se află nava este expusă într-o ferestruică. În figura 28-7, decometrul indică zona *H.* La o rotație completă a indicatorului de culoar, se produce o schimbare a zonei de o literă; aceasta are loc la parcurgerea de către navă a 24 culoare roșii, 18 culoare verzi și, respectiv, 30 culoare purpurii. La punerea în funcție a receptorului, indicatorul de zonă al fiecărui decometru se reglează manual prin acționarea comenzii „RESET", după care el asigură o urmărire automată, fiind angrenat la axul rotorului.

Din cele arătate rezultă că, *citirea decometrică* pentru determinarea unei linii de poziție decca cuprinde: culoarea familiei de hiperbole, litera corespunzătoare zonei, numărul culoarului și fracțiunea de culoar; deoarece indicatorul fracțiunii de culoare are uneori o viteză mare de rotație, funcție de drumul navei în raport cu orientarea hiperbolelor și de viteza acesteia, citirea decometrului se începe cu fracțiunea de culoar.

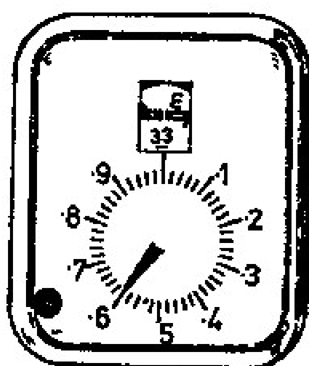


Fig. 28-8

În figura 28-7, citirea decometrului este *„roșu H* 16.30": familia de hiperbole roșii, zona *H,* culoarul 16, fracțiunea de culoar 30; figura prezintă grafic modul de interpretare a fiecărei mărimi indicate (de zonă, culoar și fracțiune de culoar).

Indicii distinctivi ai hiperbolelor echifaze trasate pe hărțile decca au aceeași componență (litera de zonă, numărul culoarului și fracțiunea de culoar), ca și

citirile decometrice, astfel că identificarea liniilor de poziție se face cu multă ușurință.

Citirile pentru zonă și fracțiunile de culoar sunt deci identice la cele trei decometre, diferind doar modul de numerotare a culoarelor.

Indicațiile decometrice sunt *continue* și *simultane* la cele trei decometre.

Decometrul reprezentat în figura 28-7 este folosit la receptorul decca de tipul MARK 12. Figura 28-8 redă decometrul verde al unui receptor decca de tipul MARK 21. Acestea nu au scara circulară exterioară cu numerotarea culoarelor; numerele culoarelor sunt înscrise pe un disc, care apar succesiv în dreptul ferestruicii inferioare. Citirea decometrică din figura 28-8 este *„verde E* 33.60": familia de hiperbole verzi, zona *E*, culoarul 33, fracțiunea de culoar 60.

§6 Identificarea automată a culoarului

Când nava se află în aria acoperită de un lanț de stații, înainte de plecarea din port sau de la ancoră, receptorul decca este pus în funcțiune; operatorul reglează manual zonele și culoarele în care se află nava, prin acționarea comenzii „RESET" a fiecărui decometru. Litera zonei și numărul culoarului fiecărei familii de hiperbole se scot din *harta decca*, funcție de poziția navei. Fracțiunile de culoar sunt indicate automat de cele trei decomtre.

Odată cu schimbarea poziției navei în raport cu rețeaua hiperbolică a lanțului de stații pe timpul navigației, în condiții normale de funcționare a emisiei și a propagării undelor, cele trei decometre indică continuu și simultan liniile de poziție pe care se află nava. Citirea lor permite determinarea continuă și precisă a poziției navei.

Această situație normală pe timpul cât nava navigă în aria acoperită de lanțul de stații, poate fi însă întreruptă de una din următoarele cauze:

– una sau mai multe stații de emisie defecte pentru un anumit interval de timp sau emisia incorectă. În asemenea situații, se transmit imediat *avize radio* către navigatori, care dau informațiile necesare și ora reluării emisiei normale, *cu indicația către navele din zonă de a verifica numărul culoarelor („... check lane number").* Asemenea situații apar însă extrem de rar, deoarece majoritatea stațiilor de emisie au câte un emițător de rezervă *(„stand by transmitter"),* care intră automat în funcție la un interval de timp de maximum 1.5 secunde de la apariția defecțiunii;

– în cazul recepției simultane a undei directe și reflectate (de regulă către *stratul D* al inosferei), indicatorul fracțiunilor de culoar al decometrului respectiv manifestă abateri bruște, uneori mai mari de 50 fracțiuni. După încetarea cauzei, acest indicator revine în poziție normală, oferind în continuare posibilitatea unor citiri corecte; precizia indicațiilor de culoar poate fi însă afectată. Fenomenul este cunoscut sub denumirea de *„alunecarea culoarului" („lane slipping");* apariția lui este foarte rară și numai la distanțe apreciabile de stațiile de emisie, mai ales pe timpul nopții.

De asemenea, identificarea culoarului se impune întotdeauna când se intră în aria acoperită de un anumit lanț de stații decca. La punerea receptorului în funcție, fracțiunile de culoar sunt indicate automat; zona, dat fiind lățimea mare a ei, de cel puțin 10584 m de-a lungul liniei de bază, se scoate din harta decca, pentru fiecare familie de hiperbole, în funcție de punctul estimat al navei.

Numărul culoarului fiecărei familii de hiperbole, pe care se află nava, este indicat de un al patrulea fazmetru al receptorului decca, numit *identificator de culoar (lane identification meter).*

Identificarea culoarului fiecărei perechi de stații se face la intervale de un minut, în timpul unei pauze scurte de 0.5 secunde a emisiei normale (descrisă, mai sus, la § 3). Pentru emisia semnalelor de identificare a culoarelor, fiecare stație dispune de un emițător adițional. Succesiunea emisiunilor pentru identificarea culoarelor și cea normală pentru măsurarea fracțiunilor de culoar, în *timp de un minut,* este cea indicată în diagrama din figura 28-9, astfel:

– de la 0 secunde la 0.5 secunde, emisia pentru identificarea culoarului roșu, de către stația roșie *R* (în frecvența proprie de 8*f* și 9*f*, prin emițătorul adițional) și cea

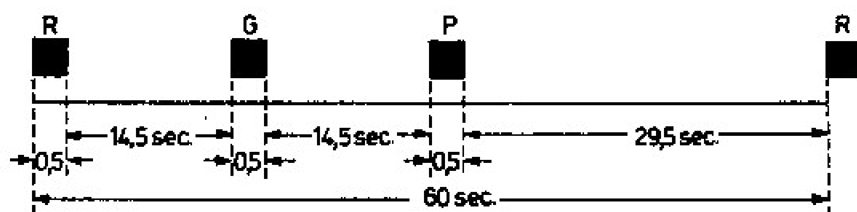


Fig. 28-9

principală (în frecvența proprie de 6*f* și 5*f*, prin emițătorul adițional al acesteia). Stația verde și cea purpurie sunt în pauză; frecvențele lor normale de lucru, de 9*f* și respectiv de 5*f*, pentru acest timp, sunt „împrumutate" emițătoarelor adiționale ale stației roșii și respectiv celei principale;

– de la 0.5 secunde la 15.0 secunde, emisie normală a celor patru stații pentru măsurarea diferenței de fază (fracțiunilor de culoar);

– de la 15.0 secunde la 15.5 secunde, emisia pentru identificarea culoarului verde, de către stația verde *G* (în frecvențele de 9*f* și 8*f*) și cea principală (în frecvențele de 6*f* și 5*f*). Stația roșie și cea purpurie în pauză;

– de la 15.5 secunde la 30.0 secunde, emisie normală pentru măsurarea fracțiunilor de culoar;

– de la 30.0 secunde la 30.5 secunde, emisia pentru idenficarea culoarului purpuriu, de către stația purpurie *P* (în frecvențele de 8*f* și 9*f*) și cea principală (în frecvențele 6*f* și 5*f*);

– de la 30.5 secunde la 60.0 secunde, emisie normală pentru măsurarea fracțiunilor de culoar.

Această succesiune a emisiunilor și respectiv a pauzelor, la intervale de un minut, sunt menținute cu o precizie riguroasă prin circuite de blocare automată în fază.

În timpul emisiunilor pentru identificarea culoarelor se conectează automat *identificatorul de culoar* și se deconectează decometrele – și invers. Dat fiind durata redusă a emisiunilor pentru identificarea culoarelor, de 0.5 secunde, indicațiile decometrelor sunt suficient de persistente pentru a se menține la nivelul din momentul încetării emisiei normale.

Identificatorul de culoar este prevăzut cu trei coroane circulare concentrice, verde – în interior, roșie – la mijloc și purpruie – în exterior, ale căror scale sunt numerotate în culoare: 18,24 și respectiv 30 (fig. 28-10).

Din cele arătate mai sus rezultă că emisiunile pentru intensificarea culoarelor se fac în frecvențele de 5*f* și 6*f* – de către stația principală și succesiv, de fiecare stație secundară, în frecvențele de 8*f* și 9*f*. Figura 28-11 prezintă schema bloc a receptorului decca pe timpul recepției pentru identificarea culoarelor: după recepție și amplifi-

care, semnalele sunt combinate şi trecute printr-o serie de convertoare de frecvenţă, astfel că la fiecare din cele două discriminatoare de fază ajunge perechea de semnale de aceeaşi frecvenţă de comparaţie: f şi respectiv $6f$. Ambele semnale sunt transmise apoi la fazmetrul identificator de culoar; cel de frecvenţă f alimentează acţionarea *indicatorului de sector (sector pointer)*, iar cel de frecvenţă $6f$ – *vernierul (vernier)*.

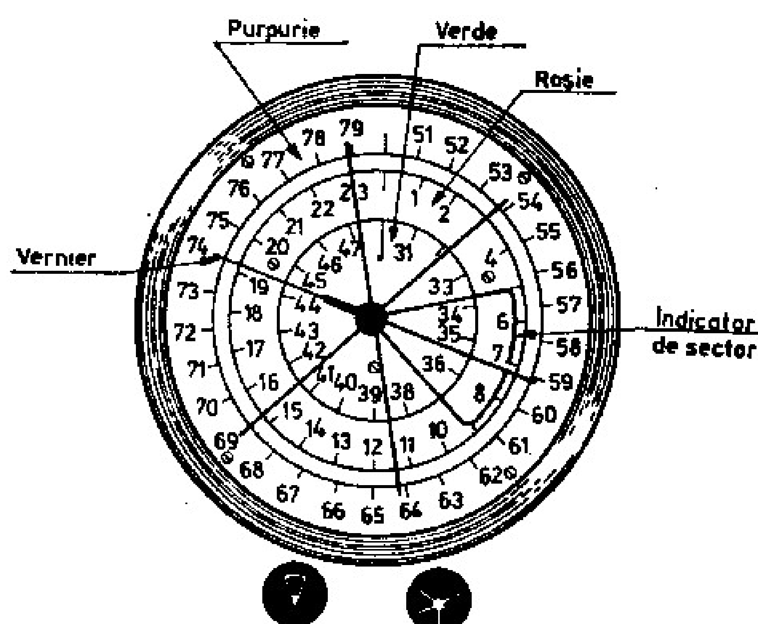


Fig. 28-10

Identificatorul de culoar funcţionează ca un decometru, însă la frecvenţe de comparaţie mai joase, astfel că unei schimbări de fază de 360°, în cazul frecvenţei f, *îi corespunde o zonă întreagă* (fig. 28-12). Lungimea de undă corespunzătoare

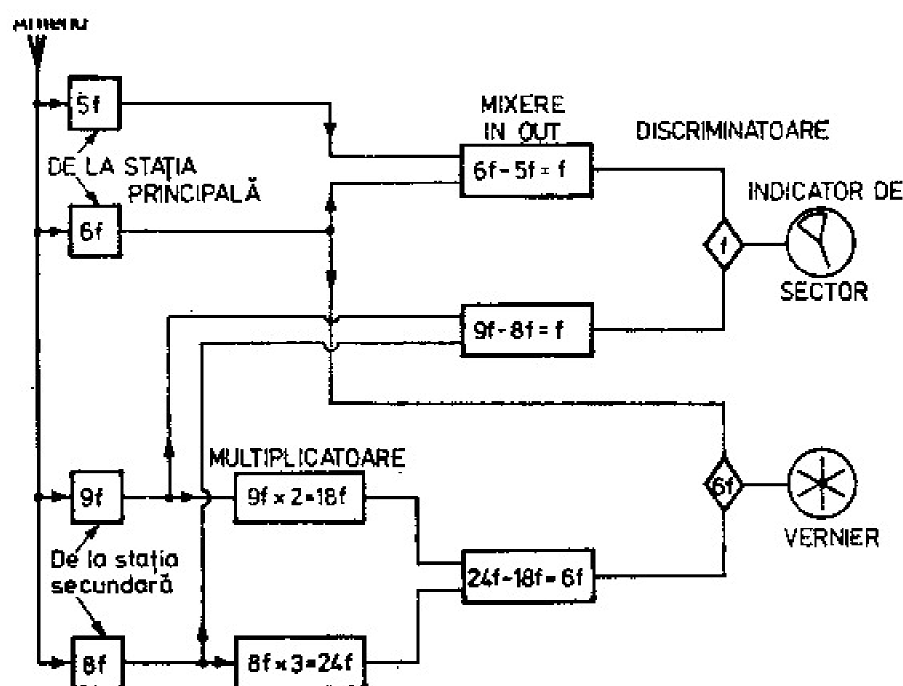


Fig. 28-11

frecvenței de comparație f (unda 1), la recepția pentru identificarea culoarului, este de 18 ori mai mare decât cea a frecvenței de comparație $18f$ (curba 2), folosită la recepția pentru măsurarea fracțiunilor de culoar a familiei de hiperbole verzi, de 24 ori în cazul celei roșii și de 30 ori în cazul celei purpurii. Acest decometru, *gradat în culoare,* reprezintă identificatorul de culoar.

În momentul recepției semnalelor de identificare a culoarului unei familii de hiperbole, coroana circulară de culoarea respectivă a identificatorului se iluminează

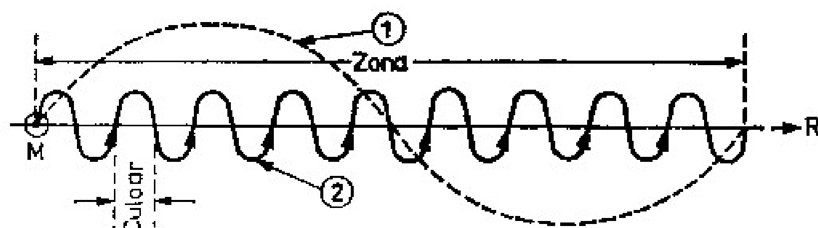


Fig. 28-12

timp de cinci secunde, suficient ca să se facă citirea. Identificarea se face în două trepte: prima, aproximativă, cu *indicatorul de sector,* la precizie de 1/6 din zonă și a doua, fină, care indică culoarul din limitele sectorului, de către *vernier.*

Indicatorul de sector (fig. 28-13 *a*), comandat de semnalul de frecvență f, este de forma unui sector de $\frac{360°}{6} = 60°$; el cuprinde deci între laturile sale o șesime a fiecărei scale circulare a identificatorului: 3 culoare verzi, 4 culoare roșii și 5 culoare purpurii.

Vernierul (fig. 28-13 *b*), comandat de semnalul de frecvență $6f$ este format din șase brațe cu un unghi de 60° între ele. Lungimea fiecărui braț este suficientă ca să acopere radial cele trei coroane circulare ale identificatorului de culoar (fig. 28-13 *c*).

Citirea identificatorului de culoar se face în dreptul brațului V al vernierului cuprins între laturile indicatorului de sector S, pe scala coroanei circulare iluminate (fig. 28-13 *c*). Considerând că citirea decometrului identificator din figura 28-10 se face în momentul iluminării scalei roșii, culoarul este cel cuprins între 7 și 8 (deci între hiperbolele echifaze roșii 7 și 8 ale zonei).

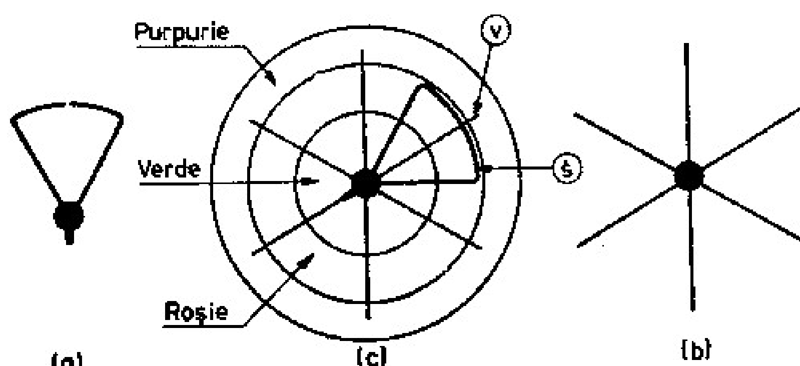


Fig. 18-13 (a)

Pe măsura identificării culoarului fiecărei familii de hiperbole, în modul arătat mai sus, se reglează succesiv indicatoarele de culoar ale celor trei decometre prin acționarea comenzii „RESET"; în continuare, acestea urmăresc automat schimbările de culoar, odată cu deplasarea receptorului în raport cu familia de hiperbole.

Experimentările efectuate arată că, identificarea automată a culoarului este posibilă cu o probabilitate de 95% până la o distanță de 240 Mm de linia de bază pe timpul zilei și numai până la o distanță de 180 Mm pe timpul nopții.

La receptoarele decca folosite în navigația aeriană, dat fiind vitezele considerabil de mari, se folosesc identificatoare automate atât de culoar cât și de zonă.

§76 Precizia liniei de poziție decca

Precizia liniei de poziție decca este funcție în principal de poziția observatorului în raport cu linia de bază a perechii de stații, de acuratețea citirilor decometrice a fracțiunilor de culoar, de interferența ce se poate produce între unda directă și cea reflectată, precum și de condițiile de propagare.

1 Influența poziției observatorului în raport cu linia de bază

Considerăm lățimea culoarelor pe linia de bază a rețelei hiperbolice a lanțului de stații descris mai sus (tabelul 28-2): 441 m – culoarele roșii, 588 m – cele verzi și 353 m – cele purpurii. Admițând precizia citirilor decometrice de 0.01 de culoar, rezultă că precizia teoretică a fiecărei linii de poziție decca pe linia de bază este de: 4.41 m pentru familia roșie, 5.88 m pentru cea verde și 3.53 m pentru familia purpurie.

Precizia liniei de poziție decca este funcție de poziția observatorului în raport cu linia de bază. Pentru a evidenția acest fapt, considerăm relația (28-2) ce exprimă diferența de fază:

$$\Delta\Phi = \frac{360^\circ}{\lambda}(l + d - d'),$$

pe care o diferențiem funcție de variabilele $\Delta\Phi$ și $\Delta d = d' - d$, obținându-se:

$$\Delta\Phi = \frac{360^\circ}{\lambda}\, d\Delta d.$$

Presupunem variația distanței la cele două stații $d\Delta d = x$, deci:

$$x = \frac{\lambda}{360^\circ} d\Delta\Phi,$$

în care dacă exprimăm variația diferenței de fază în forma $d\Delta\Phi = \frac{n}{100}360^\circ$, unde n reprezintă numărul de sutimi (fracțiuni) de culoar, devine:

$$x = \lambda\frac{n}{100},$$

pe care introducând-o în relația (27-7):

$$y = \pm\frac{x}{2}\cos\frac{\Psi}{2}$$

ce exprimă abaterea y a liniei de poziție hiperbolice funcție de eroarea x în distanța d și d' la cele două stații, precum și de unghiul Ψ sub care acestea sunt văzute de către observator (vezi cap. 27, §6), se obține:

$$y = \pm \frac{\lambda}{2} \frac{n}{100} \operatorname{cosec} \frac{\Psi}{2} \qquad (28\text{-}4)$$

unde y reprezintă eroarea liniei de poziție decca, în metri.

Formula (28-4) arată că, la aceeași eroare n în măsurarea diferenței de fază, eroarea liniei de poziție decca este minimă pe linia de bază ($\Psi = 180°$), crește pe măsura depărtării de aceasta și devine maximă pe extinderile liniei de bază ($\Psi = 0°$).

În cazul în care observația nu este afectată de eroarea de interferență a undei directe cu cea reflectată, experimentările efectuate au arătat că suma erorilor sistemului decca nu depășește $\frac{5}{100}$ din culoar.

2 Erori accidentale cauzate de interferența undei directe cu cea reflectată

Rețeaua hiperbolică decca este calculată pentru condițiile propagării directe a undei între emițător și receptor; erorile cele mai mari ale sistemului decca sunt erori accidentale generate de interferența undei directe cu cea reflectată.

În cazul producerii acestui fenomen, unda directă se compune cu cea reflectată, iar unda rezultantă are un defazaj față de cea directă de un unghi care se transmite ca eroare în citirea diferenței de fază cu receptorul decca. Eroarea este de natură accidentală, mărimea ei, în aceeași poziție a receptorului în raport cu stațiile, variind în funcție de perioada zilei și de sezon.

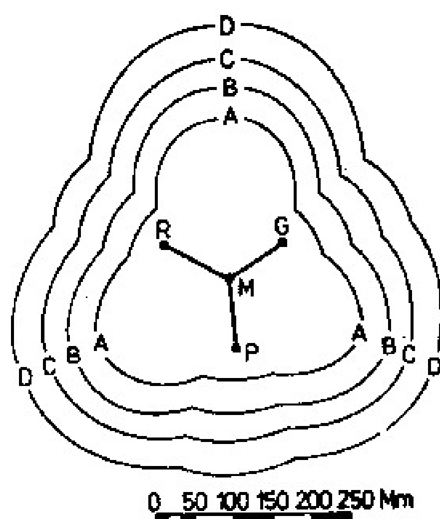


Fig. 28-14

Figura 28-14 reprezintă curbele A, B, C și D de egală eroare accidentală maximă, produsă de interferența celor două unde asupra liniilor de poziție decca, determinate de lanțul stațiilor M (principală) și R, G, P (secundare), amplasate în conformația optimă, în stea. Erorile liniei de poziție decca, în mile marine, pe cale

patru curbe, în diferite perioade de observație și la diferite distanțe față de stația principală (determinată de scara grafică din figură), sunt redate de tabelul (28-3).

Tabelul (28-3)

Perioada observației	Nava situată pe curba:			
	A	B	C	D
	la distanța, în Mm, de:			
	125–200	150–240	200–275	250–315
Noaptea, iarna	1.5	3	incertă	incertă
Noaptea, vara	1	2	4	incertă
Crepuscul	0.5	1	2	4
Semi-obscuritate	0.25	0.5	1	2
Plină lumină a zilei	< 0.25	0.25	0.5	1

Tabelul 28-3 arată că precizia sistemului decca este evident superioară pe timpul zilei; datorită efectului acestor erori, se recomandă ca observațiile să se limiteze la distanțe de 240 Mm de stația principală pe timpul zilei și de 200 Mm, pe timpul nopții.

Aceste date privind erorile accidentale *(random fixing errors)* ale sistemului decca sunt redate în *Decca fixing accuaracy diagram* (în genul fig. 28-14) și *Decca period diagram* (ce conține datele din tabelul 28-3), pentru diferitele lanțuri de stații, care fac parte din conținutul *The Admiralty list of radio signals* – vol. V, aflată în dotara tuturor navelor maritime. Studierea acestor informații la aplicarea sistemului decca în ariile acoperite de diferitele lanțuri de stații este indispensabilă.

3 Erori sistematice

La trecerea undelor decca deasupra unor suprafețe cu un sol de o conductivitate mai redusă, viteza lor de propagare este mai mică. Diferența vitezei de propagare a undei față de cea luată în calcul la trasarea rețelei hiperbolice pe aceste suprafețe, cauzează o eroare sistematică asupra liniilor de poziție decca.

Pe baza observațiilor și studiilor efectuate în ariile acoperite de diferitele lanțuri de stații, s-au determinat valorile cele mai probabile ale acestor erori; ele sunt publicate în forma unor tabele cu corecțiile de aplicat citirilor decometrice, cu titlul *Decca data sheets*. Tabelul (28-4) redă un extras din *Decca sheet No 2* pentru lanțul de stații Nr. 5 (din sudul Angliei).

Tabelul (28-4)

ERORI SISTEMATICE (FIXED ERRORS)

Aria	Roșie	Verde	Purpurie
Ymuiden	+0.20	–0.20	N/A
Hook of Holland	+0.10	–0.10	N/A
West Schelde	+0.10	–0.05	N/A

Corelațiile sunt exprimate în fracțiuni de culoar, pozitive sau negative; ele sunt de aplicat citirilor decometrice făcute în locurile indicate în tabele, la nevoie procedându-se la interpolare. Notația *N/A* indică faptul că familia de hiperbole de culoarea respectivă nu se utilizează în locul indicat.

§8 Punctul decca

1 Hărți decca (decca lattice charts)

Harta decca este o hartă marină în proiecție Mercator, ce conține toate detaliile necesare navigației (sondaje, pericole etc.), pe care este trasată rețeaua hiperbolică a unui lanț de stații. Seria unei asemenea hărți este formată din litera *L („lattice")*, o paranteză ce conține litera *D* („decca") și numărul de cod al lanțului de stații, urmate apoi de numărul hărții. De exemplu, harta cu seria *L* (*D* 5) 1406 reprezintă harta de navigație Nr. 1406, pe care este trasată rețeaua hiperbolică a lanțului de stații Nr. 5 (din sudul Angliei).

Fiecare familie de hiperbole este redată în culoarea perechii de stații, roșie, verde sau purpurie; fiecare hiperbolă a unei familii are înscris indicele distinctiv format dintr-o literă, ce indică zona și numărul culoarului (vezi fig. 28-16).

În funcție de scara hărții, hiperbolele unei familii sunt trasate la intervale de o jumătate de culoar, de unu sau două culoare. Interpolarea grafică în spațiul dintre hiperbolele trasate pe hartă, funcție de citirea decometrică la precizie de 0.01 de culoar, se face prin apreciere sau cu ajutorul unei rigle transparente gradate *(„Interpolator for decca lattice charts")*, care se obține la bord odată cu documentația receptorului decca.

Zonele și culoarele unei familii hiperbolice se numerotează în succesiunea de la stația principală spre cea secundară. La distanțe mai mari de 240 Mm de stația principală, hiperbolele sunt reprezentate prin linii punctate, indicând astfel limita de utilizare în navigație a rețelei hiperbolice respective.

În condiții normale, punctul decca se determină numai cu două observații, prin intersecția a două linii de poziție. Pentru facilitarea alegerii celor două perechi de stații ce oferă condițiile cele mai favorabile pentru determinarea punctului navei, se urmează indicațiile date de hărțile conținute în *Decca data sheets*. O astfel de hartă, pentru lanțul de stații Nr 5 (din sudul Angliei) este redată de (figura 28-15). Când nava se află în aria închisă de cercul interior, alegerea celor două decometre se face de către observator după criteriile observațiilor favorabile: lățimea cea mai mică a culoarelor (indicată de harta decca) și unghiul cel mai favorabil de intersecție a liniilor de poziție.

Dacă nava se află în coroana circulară delimitată de cele două cercuri interioare (redate prin linii continue), perechile de stații (decometrele) ce oferă condițiile cele mai favorabile de determinare a punctului decca sunt cele indicate în sectorul cuprins între laturile continue. Astfel, de exemplu, dacă nava se află în partea de vest a Canalului Mânecii, se recomandă citirea decometrelor verde și purpuriu; aproape de coasta Olandei – roșu și verde etc.

În cazul folosirii unei singure linii de poziție (pentru avertizarea pe un punct etc.), precizia maximă este oferită de familia de hiperbole (decometrul) indicat în sectorul cuprins între laturile redate prin linii punctate; astfel, de exemplu, dacă nava se află în Canalul Bristol, asemenea condiție este oferită de decometrul verde.

În hărțile decca ce conțin arii de suprapunere ale unor rețele hiperbolice aparținând unor lanțuri de stații diferite *(„interchain decca fixing charts“)*, în porțiunile respective, indicele distinctiv al hiperbolelor cuprinde în paranteză și numărul

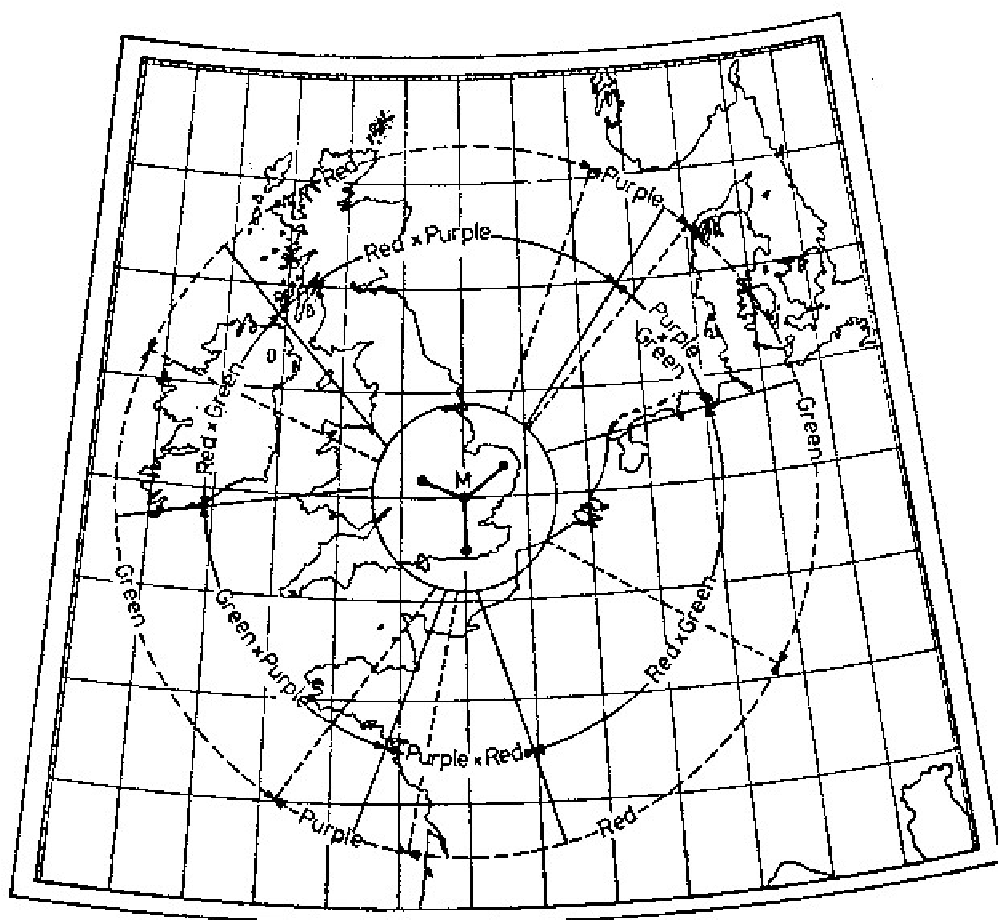


Fig. 28-15

lanțului alăturat: 5, lanțul din sudul Angliei, 3 – din nordul Angliei, 7 – lanțul danez etc.

2 Determinarea punctului navei

Punctul decca se obține prin intersecția a două linii de poziție hiperbolice, definite de citirile decometrice; alegerea decometrelor favorabile se face în modul indicat mai sus. Astfel, figura 28-16 redă determinarea punctului navei *Z* cu citirile decometrice:

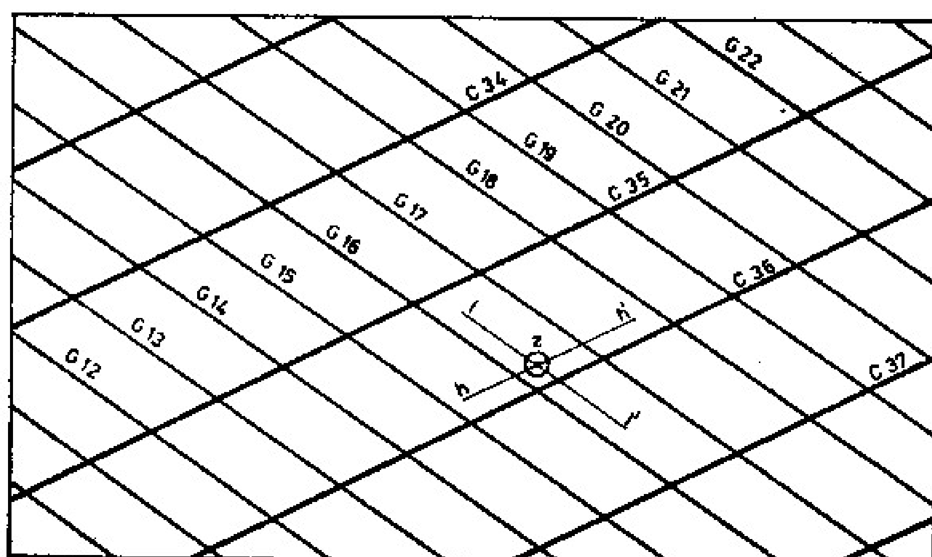
– *roșu (red)* = *G* 16.28 (zona *G*, culoarul 16,28 fracțiuni de culoar), care definește linia de poziție *ll'*;

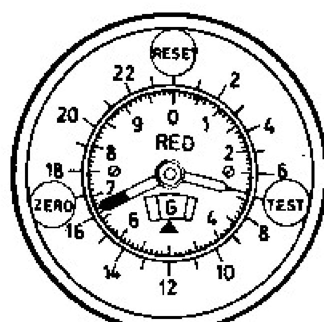
– *verde (green)* = *c* 35.82 (zona *C*, culoarul 35,82 fracțiuni de culoar), care determină linia de poziție *hh'*.

Punctul navei *Z* este determinat de intersecția liniilor de poziție *ll'* și *hh'*; la o oarecare distanță de linia de bază, pe arii restrânse, linia hiperbolică se apropie practic de o dreaptă. Interpolarea grafică pentru fracțiunile de culoar se face cu *interpolatorul decca* sau prin apreciere.

Pe lângă precizia înaltă ce caracterizează linia de poziție decca, acest sistem prezintă marele avantaj că observațiile sunt instantanee, simultane și continue, iar *punctul navei se obține prin simpla citire a decometrelor și identificarea liniilor hiperbolice pe hartă, în baza acestora.*

În ariile unde apar erori sistematice datorită variației vitezei de propagare a undei, citirile decometrice se corectează în funcție de valorile indicate în *Decca data*





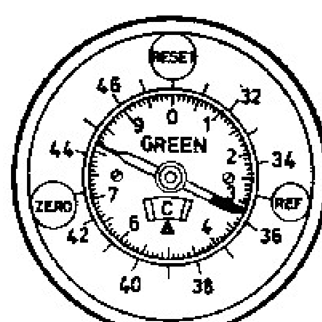


Fig. 28-16

sheets pentru lanțul de stații observate. De exemplu, considerăm că nava execută apropierea pentru intrarea pe Schelde, în drum spre Anvers, și face citirile decometrice: *roşu I 0.84* şi *verde F 40.55;* corecțiile pentru erorile sistematice (tabelul 28-4) pentru West Schelde sunt: *roşu + 0.10* și *verde – 0.05*. Liniile de poziție corecte sunt deci: roșu *I* 0.94 și verde *F* 40.50; în funcție de acestea se procedează apoi la determinarea punctului navei.

Considerând sumele erorilor ce afectează cele două linii de poziție decca de mărimile $\pm y$ și respectiv $\pm y'$ (vezi relația 28-4), intersecția celor două *fâșii de poziție* (vezi cap. 27, §8) determină un *paralelogram de incertitudine,* eroarea maximă e_{max} fiind egală cu semidiagonala mare a acestuia, exprimată de relația (27-14):

$$e_{max} = \operatorname{cosec}\alpha \sqrt{y^2 + y'^2 + 2yy'\cos\alpha}$$

unde α reprezintă unghiul dintre liniile de poziție. Această formulă arată că eroarea este minimă când unghiul de intersecție este de 90°; în aplicarea

sistemului decca, acest unghi se consideră favorabil în limitele cuprinse între 70° și 140°.

Documentația decca *(Decca data sheet)* pune la dispoziția navigatorilor *suprafețele de incertitudine* determinate de erorile accidentale din zonele de navigație de interes deosebit (treceri dificile, intrări în porturi etc.), reduse însă la elipsa înscrisă în paralelogramul de incertitudine. *Elipsa de incertitudine a erorilor accidentale* (cauzate de interferența undei directe cu cea reflectată) este definită în documentația decca prin: direcția axei mici a elipsei *(„direcția cea mai puțin precisă", „least accurate direction")* și lungimea în cabluri a semiaxei mici și mari, pentru timp de zi și timp de noapte. Astfel, tabelul 28-5 redă un extras din *Decca data sheets* pentru lanțul de stații Nr 5 (din sudul Angliei), conținând elementele elipsei de incertitudine.

Tabelul (28-5)

Locul	Direcția cea mai precisă (axa mică)			Direcția cea mai puțin precisă (axa mare)		
	Direcția	Lungimea (cb)		Direcția	Lungimea (cb)	
		Ziua	Noaptea		Ziua	Noaptea
West Schelde	10°	$\frac{1}{2}$	1	100°	2	5
Scheveningen	175	$\frac{1}{2}$	1	85	3	8

În exemplul dat mai sus, pentru nava aflată în zona West Schelde, după obținerea citirilor decometrice corectate pentru erorile sistematice (roșu *I* 0.94 și

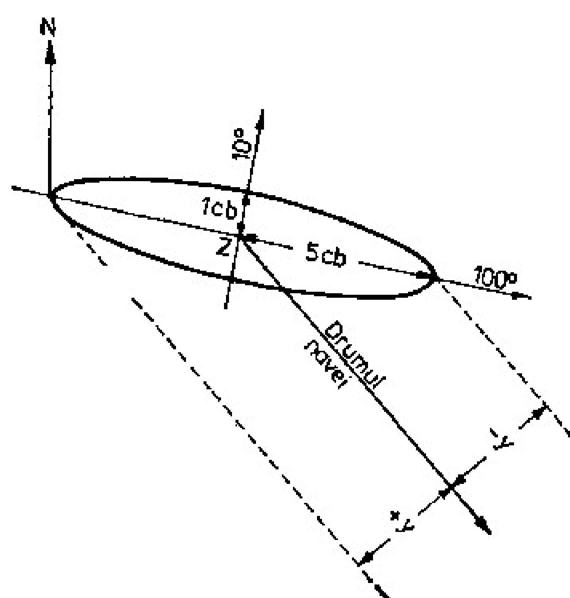


Fig. 28-17

verde *F* 40.50), se procedează la determinarea punctului navei *Z*. Considerând că observațiile au fost executate pe timpul nopții, se construiește elipsa de incertitudine cu elementele indicate în documentația decca (tabelul 28-5), având centrul în *Z*

(fig. 28-17). Poziția cea mai probabilă a navei se află în interiorul acestei elipse; funcție de drumul urmat de navă, trasat din Z, se poate stabili *fâșia de incertitudine* în care se încadrează nava spre punctul de aterizare.

Eroarea punctului decca ia practic valori de ordinul metrilor la cel al zecilor de metri în aria din apropierea lanțului de stații (cea corespunzătoare ariei închisă din cercul interior din fig. 28-15), până la valori de ordinul sutelor de metri în afara acesteia, unde observațiile nu sunt afectate de influențe ale fenomenului de interferență; asemenea erori sunt în general neglijabile pentru cerințele siguranței navigației. De aceea, sistemul decca este socotit ca cel mai precis sistem de radiolocație; el poate fi considerat deci, corespondentul procedeului unghiurilor orizontale din navigația costieră. Precizia scade cu creșterea distanței la stația principală, îndeosebi pe timpul nopții, în situațiile când observațiile sunt executate în condiții de interferență a undei directe cu cea reflectată.

§9 Aterizarea pe un punct și alte aplicații ale sistemului decca

Gradul înalt de precizie, expeditivitatea, continuitatea și simplitatea controlului poziției în sistemul decca fac ca acesta să aibă multiple aplicații de mare utilitate în practica navigației. Combinarea utilizării lui, îndeosebi cu radarul, în ape restrânse și pe vizibilitate redusă, dă rezultate excepționale, când aceste mijloace sunt puse la îndemâna unui navigator iscusit; în cele ce urmează se exemplifică doar câteva aplicații ale sistemului decca.

1 Aterizarea pe un punct dat

Procedeul aterizării pe un anumit punct prin aplicarea sistemului decca prezintă interes la intrări în porturi (pe râuri sau canale), la apropierea pentru ancorare etc., îndeosebi în ape cu pericole de navigație și în condiții de vizibilitate redusă, când se impune un control precis, instantaneu și continuu al poziției navei.

Alegerea drumului cel mai favorabil de aterizare impune un studiu atent al particularităților ariei de navigație*, precum și al rețelei hiperbolice. Drumul de aterizare cel mai favorabil pe un punct este cel paralel cu o familie de hiperbole, situație când menținerea navei pe drum este indicată de citirile constante ale decometrului de culoarea respectivă (fig. 28-18); controlul poziției navei pe acest drum se face prin citirea decometrului familiei hiperbole ce se intersectează cu prima, într-un unghi cât mai favorabil.

Pentru exemplificare, considerăm că nava aflată în punctul Z_0, în drumul D_1, de rază de girație r, trebuie să execute ancorarea în punctul Z.

Punctul Z_0 este de *coordonate decca:* roșu F 12.00 și verde B 34.00. Presupunem că situația de navigație permite urmarea drumului de aterizare D_2 de-a lungul hiperbolei roșii F 14.50. În acest caz se procedează astfel:

– funcție de raza de girație r a navei, se determină punctul I de inițiere a întoarcerii și de terminare T;

* În tratarea acestui capitol s-a evitat expresia consacrată „zonă de navigație" pentru a nu se crea confuzii cu „zona" rețelei hiperbolice decca, noțiune proprie acestui sistem.

– se scot din hartă *coordonatele decca* ale unor puncte echidistante Z_1, Z_2 etc..., precum şi ale punctului de iniţiere *I* şi de terminare *T* a giraţiei, care se înscriu într-o foaie de observaţii.

Controlul poziţiei navei pe drumul D_1, cât şi a iniţierii giraţiei, se face prin compararea coordonatelor decca scoase din hartă cu citirile decometrelor roşu şi verde.

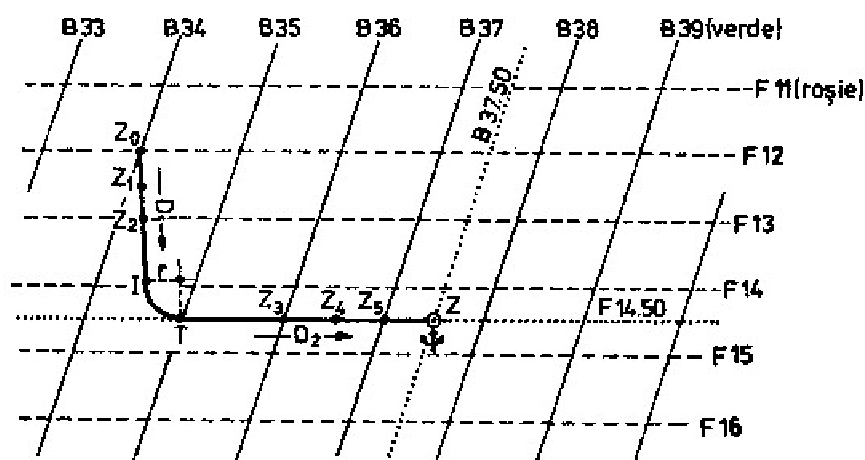


Fig. 28-18

Pe drumul D_2, menţinerea citirii decometrice corespunzătoare hiperbolei pe care se navigă (roşu *F* 14.50), constituie indiciul că nava se află pe drumul de aterizare; variaţia citirii decometrice într-un sens sau altul (sub acţiunea curentului, vântului etc.), impune revenirea în drumul D_2, indicată prin citirea decometrică prestabilită (roşu *F* 14.50).

Citirile decometrului verde în punctele Z_3 (*B* 36.00), Z_4 (*B* 36.50) etc. dau posibilitatea determinării poziţiei navei în raport cu punctul de ancorare *Z* şi stabilirii manevrei necesare a maşinii.

În coordonatele decca – roşu *F* 14.50 şi verde *B* 37.50 – se fundariseşte ancora, nava aflându-se în punctul *Z*..

2 Alte aplicaţii

Sistemul decca mai poate fi aplicat cu succes în următoarele situaţii:

– la executarea probelor de mare, pentru determinarea vitezei navei, curbei de giraţii, inerţiei navei etc.;

– controlul menţinerii ancorajului pe timpul staţionării la ancoră;

– la determinarea completă a deviaţiilor compasului magnetic, pentru stabilirea relevmentului la obiectul de observat, în raport cu punctul decca (obţinut deci printr-o metodă independentă de compas);

– în combinaţie cu radarul, care indică relevmentul şi distanţa la „ţintă", se poate rezolva problema poziţiei unor obiecte observate (geamanduri, nave, far etc.). Se determină punctul navei cu observaţiile decca, iar poziţia obiectului în raport cu nava – cu ajutorul observaţiilor radar.

De asemenea, sistemul decca aduce servicii preţioase la lucrări hidrografice, la ancorarea geamandurilor şi aşezarea cablurilor, la executarea dragajelor etc.

§10 Trasorul automat de drum decca (decca track plotter)

Trasorul automat de drum, conectat la receptorul decca, trasează drumul deasupra fundului, indicând continuu poziţia navei. Principiul de funcţionare se bazează pe transformarea coordonatelor hiperbolice decca în reprezentări grafice

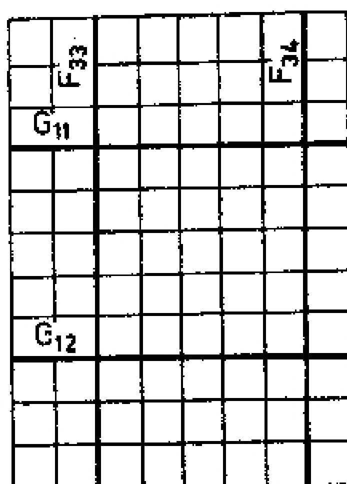


Fig. 28-19

corespunzătoare drumului urmat de navă. Pentru aceasta, se folosesc două familii de hiperbole, care se intersectează sub un unghi favorabil, cât mai apropiat de 90°.

Înregistrarea se face pe *hărţi speciale decca,* care reprezintă hiperbolele unei familii – rectilinii, paralele între ele şi perpendiculare pe hiperbolele celei de a doua

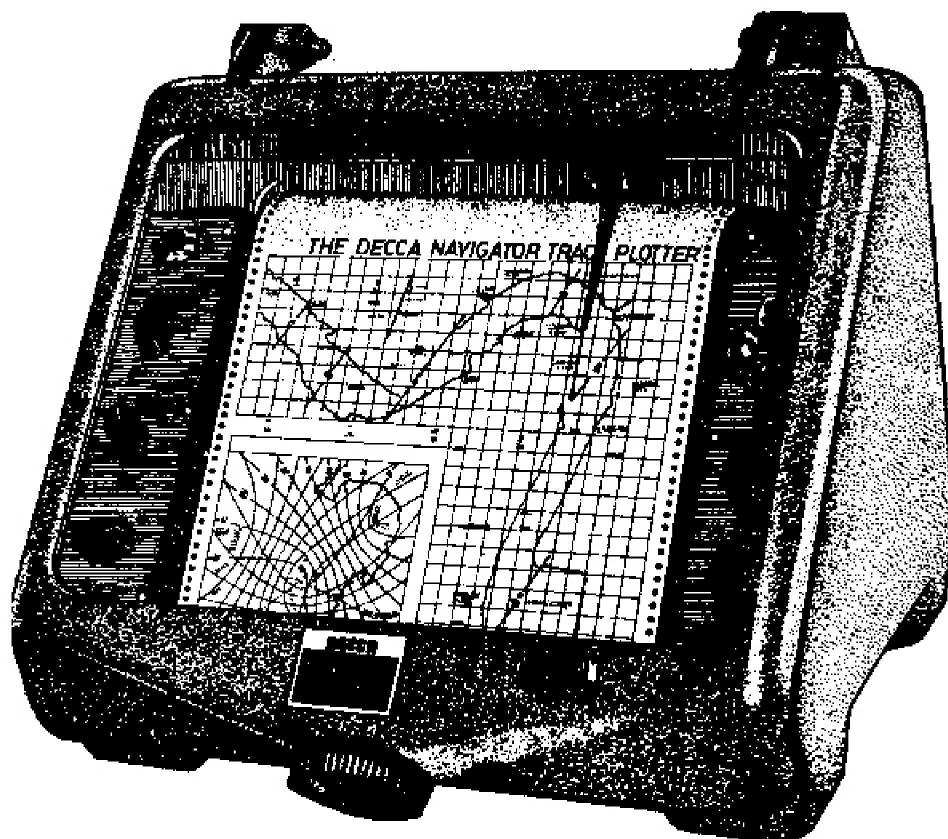


Fig. 28-20

familii. Figura 28-19 reprezintă schematic rețeaua hiperbolică a unei asemenea hărți; liniile orizontale G_{11}, G_{12}, etc. reprezintă familia de hiperbole roșii, iar cele verticale, F_{33}, F_{34} etc. familia verde. Este evident că o asemenea proiecție conține deformații ale coastei etc., care sunt funcție de unghiul dintre familiile de hiperbole; amploarea deformațiilor crește cu diferența dintre 90° și acest unghi, limitându-se la deformațiile Mercator când unghiul dintre familiile de hiperbole este de 90°.

Această hartă specială decca este înfășurată pe doi cilindri, în partea superioară și cea inferioară (ca la sonda ultrason); viteza de înfășurare și deci mișcarea ei pe verticală, în cazul considerat, este comandată de decometrul roșu. Înregistrarea se face de către o peniță a cărei mișcare pe orizontală este acționată de decometrul verde (fig. 28-20). Mișcările de rotație ale celor două decometre sunt transformate deci în mișcări rectilinii, reciproc perpendiculare.

Aplicațiile principale ale trasorului automat decca sunt:

– înregistrarea continuă a poziției navei, care indică drumul deasupra fundului;

– urmarea și înregistrarea unui drum trasat anticipat pe hartă. Guvernarea navei se face astfel ca nava să se mențină continuu pe acest drum. Această aplicație prezintă o valoare deosebită în ape restrânse și cu pericole de navigație;

– reparcurgerea unui drum, urmând deci drumul înregistrat anterior în sens opus. Această aplicație prezintă interes pentru navele de pescuit.

29 SISTEMUL OMEGA

§1 Generalități

Sistemul omega, ca și decca, este un sistem hiperbolic de navigație care determină linia de poziție prin măsurarea diferenței de fază a undelor emise de o pereche de stații. Particularitatea acestui sistem constă în folosirea unor frecvențe de emisie foarte joase, în banda cuprinsă între 10 și 14 kHz, caracterizate printr-o înaltă stabilitate în propagare și o bătaie eficientă extrem de mare, până la 8000 Mm; până în prezent este serviciul care folosește cele mai joase frecvențe radio. După o serie de experimentări, începând din anul 1947, ale unor variante premergătoare, *radux* și apoi *radux-omega*, în 1957 s-a trecut la realizarea sistemului *omega*.

Bătaia foarte mare a radioundelor folosite permite utilizarea unor linii de bază între stațiile de emisie omega cu o lungime de 5000 până la 6000 mm; în aceste condiții, întreaga suprafață terestră poate fi acoperită de numai opt stații de emisie. În comparație cu sistemul loran, această caracteristică a sistemului omega prezintă următoarele avantaje: asigură acoperirea întregii suprafețe navigabile a globului; cheltuielile de realizare și întreținere a sistemului sunt incomparabil mai mici. De asemenea, caracteristicile de propagare a undelor de frecvențe foarte joase permit aplicarea sistemului omega de către submarine, în imersiune.

Receptorul omega se pune în funcție la plecarea din port și se menține astfel pe tot timpul navigației. Măsurarea, afișarea și înregistrarea diferenței de fază a semnalelor recepționate de la două perechi de stații se efectuează continuu; pentru determinarea liniei de poziție omega, la diferența de fază citită trebuie aplicată corecția pentru reflexia undei de către straturile ionizate ale atmosferei.

La intersecția a două linii de poziție se obține punctul navei, numit *punct omega;* problema se rezolvă pe *harta omega,* care reprezintă rețeaua hiperbolică determinată de stațiile omega ce acoperă zona de navigație sau cu ajutorul *tablelor omega.* Determinarea unui punct omega durează aproximativ două minute, deci considerabil mai puțin decât în cazul punctului astronomic.

Experimentările efectuate arată că precizia punctului omega este de ± 1 Mm pe timpul zilei și ± 2 Mm pe timpul nopții, deci sensibil aceeași cu a punctului astronomic, determinat în condiții favorabile de observație. La precizie egală, sistemul omega prezintă însă următoarele avantaje față de procedeul punctului astronomic:

– posibilitatea aplicării în orice condiții de vizibilitate;

– punctul omega se poate determina *continuu,* cu observații *simultane,* într-un timp considerabil mai redus;

– aplicarea sistemului omega este extrem de simplă, constând din citirea liniilor de poziție indicate continuu de receptor, corectarea lor pentru reflexia undelor și intersecția acestora pe hartă.

Costul relativ redus al receptorului, precizia punctului, continuitatea, simultaneitatea, expeditivitatea și simplitatea executării observațiilor, precum și importanta performanță de a asigura acoperirea întregii suprafețe navigabile a globului, fac ca pentru viitorul previzibil, după intrarea în funcție a tuturor stațiilor de emisie, sistemul omega să constituie sistemul de bază pentru navigația la larg.

§2 Stații de emisie. Rețeaua hiperbolică omega

Sistemul omega cuprinde opt stații de emisie, desemnate prin literele *A, B, C, ..., H;* numele și poziția acestora sunt indicate în tabelul 29-1.

Tabelul 29-1

Numele stației	Litera	Poziția	
		Latitudinea	Longitudinea
Aldra, Norvegia	*A*	66°25′12″.62 N	13°08′12″.52 E
Monrovia, Liberia	*B*	6°18′19″.42 N	10°39′44″.21 W
Oahu, Hawaii	*C*	21°24′16″.78 N	157°49′51″.51 W
La Moure, North Dakota	*D*	46°21′57″.29 N	98°20′08″.77 W
Ins. Reunion	*E*	20°58′27″.03 S	55°17′23″.07 E
Golgo Nuevo, Argentina	*F*	43°03′12″.89 S	65°11′27″.36 W
Trinidad (temporar)	*G*	10°41′58″.12 N	61°38′17″.73 W
Tsushima, Japonia	*H*	34°36′52″.93 N	129°27′12″.57 E

Stația Trinidad *(G)* operează temporar, cu o putere de emisie redusă, de 1 kw; stația *G* este în curs de instalare în Australia.

Stațiile omega au o mare putere de emisie, de 10 kW, astfel că semnalele lor pot avea o bătaie utilă de 5000 Mm până la 8000 Mm, funcție de relevmentul la stație; bătaia minimă se manifestă pentru receptoarele aflate la vest de stația de emisie, iar cea maximă - pentru cele situate la est.

Frecvența de emisie de bază a stațiilor omega, folosită pentru măsurarea diferenței de fază este de 10.2 kHz. Emisia stațiilor este riguros în fază, astfel că diferența de fază a unei perechi de semnale recepționate la bord este funcție de diferența de distanță la cele două stații; locul punctelor de egală diferență de fază a celor două semnale este hiperbola, definită de diferența de distanță constantă la cele două stații de emisie (vezi cap. 27, § 2 și cap. 28, § 2).

Lungimea de undă corespunzătoare frecvenței de 10.2 kHz este de aproximativ 16 Mm. Rezultă că pe linia de bază omega, hiperbolele de diferență de fază zero sunt separate de spații egale cu aproximativ 8 Mm (vezi cap. 28, § 2). În aceste condiții,

la bordul unei nave dotate cu un receptor omega, care măsoară automat și continuu diferența de fază, rezultă că linia de poziție este definibilă dacă punctul estimat se cunoaște cu o precizie de ± 4 Mm, când nava se află pe linia de bază; condiția de precizie a punctului esimat devine mai puțin riguroasă pe măsura depărtării de linia de bază.

Ca și la sistemul decca, în sistemul omega, aria delimitată de două hiperbole de diferență de fază zero *(hiperbole echifaze)* se numește *culoar (lane);* hiperbolele de diferență de fază zero unesc punctele ale căror distanțe la cele două stații de emisie diferă cu un număr întreg de lungimi de undă (vezi cap. 28, § 2).

Indicele distinctiv al unei linii de poziție omega de diferență de fază zero, care delimitează deci un culoar, este format din două litere (de la *A* la *H*), care indică perechea de stații și numărul de ordine al acesteia, compus din cel mult patru cifre; de exemplu, linia de poziție *AC*-825 reperezintă hiperbola 825 de diferență de fază zero a perechii de stații Norvegia – Hawaii (vezi fig. 29-4).

La deplasarea receptorului omega între hiperbolele limită ale unui culoar, diferența de fază ia valori de la 0° la 360°.

O linie de poziție omega oarecare este definită prin indicele distinctiv al hiperbolei de diferență de fază zero și numărul sutimilor de culoar; de exemplu, linia de poziție omega *AC*-825.25: perechea de stații *AC* (Norvegia – Hawaii), hiperbola 825 de diferență de fază zero și 25 sutimi de culoar.

Lungimea mare a liniilor de bază, de 5000 la 6000 Mm, în condițiile formei sferice a Pământului, face ca rețeaua hiperbolică omega să prezinte următoarele avantaje față de cea a sistemelor loran și decca:

– liniile de poziție omega sunt aproape paralele, divergența lor nedepășind 15%;

– în fiecare zonă navigabilă a globului se găsesc cel puțin două familii de hiperbole ale căror linii de poziție se intersectează sub un unghi favorabil, de cel puțin 60°.

§3 Descrierea emisiei stațiilor omega

Stațiile omega emit semnale de unde continue în trei frecvențe comune: 10.2 kHz, care constituie frecvența de bază folosită pentru măsurarea diferenței de fază, 13.6 și 11.33 kHz, utilizate pentru identificarea culoarelor.

Programul emisiei celor opt stații omega este în succesiunea de la *A* la *H*, care se reia după un ciclu constant. Durata emisiei fiecărei stații în frecvența de 10.2 kHz, potrivit codului de identificare a acestora, este cuprinsă între 0.9 și 1.2 secunde, așa cum se arată în tabelul 29-2.

Tabelul 29-2

Stația	A	B	C	D	E	F	G	H
Durata emisiei (sec):	0.9	1.0	1.1	1.2	1.1	0.9	1.2	1.0

În afara frecvenței de 10.2 kHz, stațiile omega mai transmit semnale și în frecvențele de 13.6 și 11.13 kHz, pentru identificarea culoarelor; figura 29-1 redă diagrama de emisie a celor opt stații, în cele trei frecvențe.

Succesiunea emisiei este în ordinea stațiilor de la *A* la *H*, iar cea a frecvențelor de emisie a semnalelor fiecărei stații este: 10.2, 13.6, și 11.33 kHz. Când stația *B*

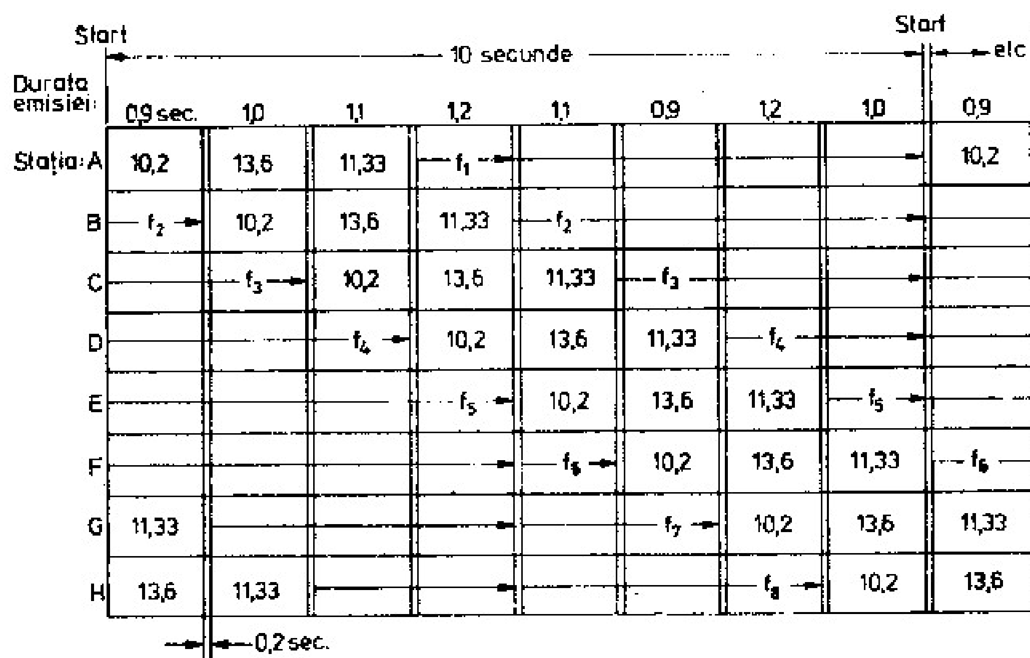


Fig. 29-1

transmite semnalul în 10.2 kHz, stația *A* emite semnalul în 13.6 kHz, ambele de aceeași durată; stația *C* transmite semnalul în frecvența de 10.2 kHz, simultan cu emiterea semnalului în 13.6 kHz de către *B* și cel de 11.33 kHz de către *A* ș.a.m.d., până când se încheie ciclul de emisie, după care acesta se repetă în aceeași formă. Pauza dintre semnale este de 0.2 secunde, astfel că *durata emisiei unui ciclu omega este riguros egală cu 10 secunde.*

Începutul fiecărui ciclu de emisie omega este precis sincronizat cu timpul universal (timpul mediu la Greenwich), multiplu de 10 secunde; în fiecare minut se emit deci 6 cicluri omega, care încep la 0, 10, 20, ... 50 secunde.

Identificarea semnalelor omega se poate realiza astfel:

– după succesiunea și durata semnalelor omega, prin comparație cu semnalele orare radio;

– după intensitatea semnalelor sonore omega obținute printr-un jack de ascultare al receptorului, în funcție de nivelul relativ al sunetelor; este evident că intensitatea semnalelor sonore variază invers cu distanța la stații, cel mai intens provenind de la stația cea mai apropiată;

– după amplitudinea semnalelor vizuale obținute pe indicatorul unui osciloscop sau pe fața unui tub catodic; amplitudinea acestor semnale variază, de asemenea, invers cu distanța la stațiile de emisie.

Așa cum se arată în § 4, receptoarele omega aplică cel puțin două din aceste soluții de identificare a semnalului unei stații de emisie, în vederea realizării sincronizării receptorului cu ciclul de emisie, condiție esențială pentru măsurarea diferenței de fază.

§4 Receptorul omega. Măsurarea diferenței de fază

Receptorul omega trebuie să satisfacă două cerințe fundamentale:

– asigurarea posibilității de sincronizare riguroasă a ciclului de recepție cu cel de emisie, descris la § 3;

– măsurarea și afișarea diferenței de fază a două semnale, care nu sunt simultane, așa cum s-a arătat la § 3, ci separate de un interval de timp constant,

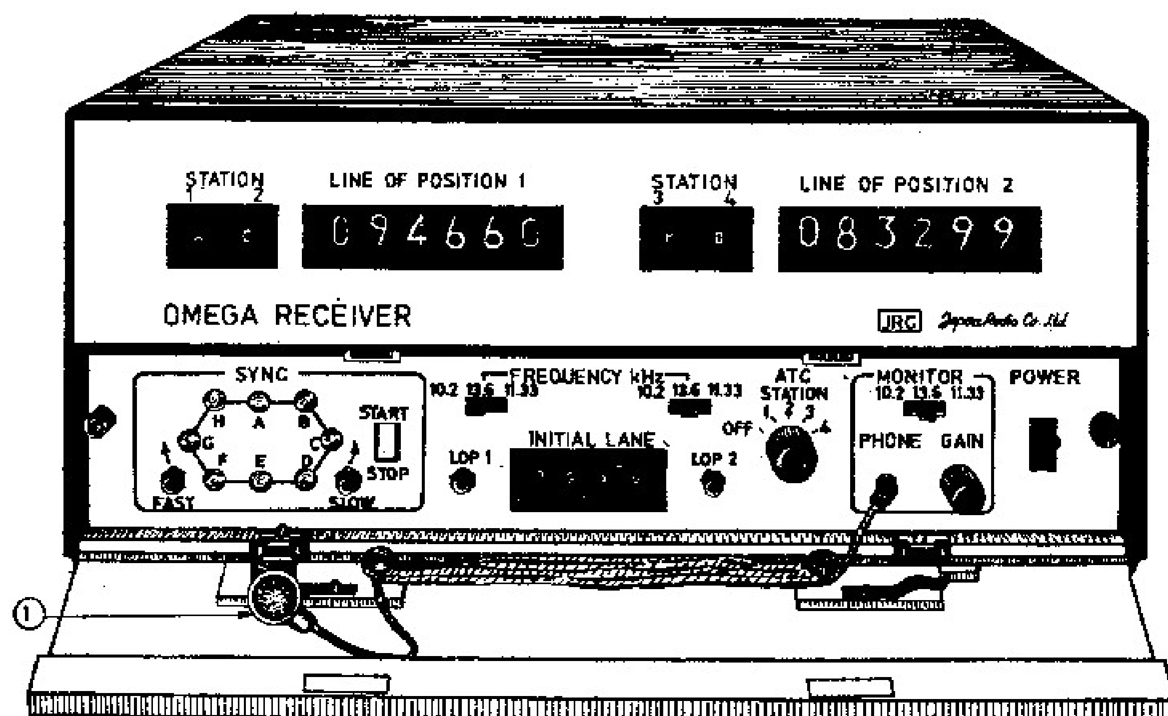


Fig. 29-2

funcție de pozițiile perechii de stații în succesiunea celor opt emițătoare. În aceste condiții, *diferența de fază a semnalelor recepționate de la o pereche de stații se măsoară prin comparație cu o undă continuă de referință, generată de către un oscilator propriu de 10.2 kHz de înaltă stabilitate*, a cărui menținere în fază este controlată de un discriminator.

Figura 29-2 reprezintă receptorul omega JLA-101, instalat la bordul tancurilor petroliere de tipul DACIA.

Receptorul omega se pune în funcțiune cu cel puțin 30 de minute înainte de plecarea în voiaj (din port sau de la ancoră), timp necesar realizării stabilității oscilațiilor de referință, generate de către oscilatorul de 10.2 kHz, precum și reglării receptorului de către operator. În cele ce urmează se prezintă succint operațiile principale necesare a fi efectuate înainte de plecarea în mare și pe timpul navigației, în scopul obținerii liniilor de poziție omega. Receptorul omega se menține în funcțiune pe tot timpul navigației, afișând continuu două linii de poziție pe care se află nava.

1 Selecționarea perechilor de stații

Cele două perechi de stații care asigură o intersecție favorabilă a liniilor de poziție, precum și condiții avantajoase de recepție, într-o anumită zonă, se

selecționează după indicațiile hărții omega. Pe marginea de jos a hărții, sub titlul *„Prefered order of LOP selection in this aera" (ordinea de preferință a selecționării liniilor de poziție în această zonă)*, se menționează trei sau patru combinații de perechi de stații omega pentru zona respectivă; combinația 1 este cea mai favorabilă din zona de navigație.

Receptorul se reglează pentru cele două perechi de stații indicate de combinația 1, prin acționarea manuală a selectoarelor de stații „STATION-1,2" și „STATION-3,4"; în figura 29-2, receptorul a fost reglat pentru recepția stațiilor *A–C* (perechea stațiilor 1 și 2) și *B–D* (perechea stațiilor 3 și 4).

2 Sincronizarea recepției

Ciclul recepției, controlat de frecvența oscilatorului de 10.2 kHz de înaltă stabilitate conținut de receptor, se sincronizează cu ciclul emisiei (descris la §3) prin dispozitivul de sincronizare „SYNC" *(synchronization)*. Semnalele luminoase ale acestui dispozitiv se produc în succesiunea *A, B, C, ... H* (vezi fig. 29-2), ca și emisia celor opt stații; punerea în funcție sau oprirea dispozitivului se face prin acționarea comenzii „START-STOP". Operația practică a sincronizării constă în reglarea simultaneității unui semnal luminos *(A, B, C, ...* sau *H)* al acestui dispozitiv, cu semnalul omega recepționat de la stația cu același nume, prin acționarea comenzilor „FAST" (repede) sau „SLOW" (încet). Identificarea semnalului omega, în vederea sincronizării, se poate realiza prin două metode: după intensitatea semnalelor sonore omega; prin comparație cu semnalele orare radio.

A. Sincronizarea după intensitatea semnalelor sonore omega

Semnalele sonore omega cu durata de 0.9 la 12 secunde (vezi fig. 29-1), se recepționează printr-un jack (1) conectat la dispozitivul de ascultare „MONITOR-PHONE", reglat pentru frecvența de 10.2 kHz la un volum (GAIN) convenabil (fig. 29-2). Intensitatea lor variază în funcție de distanța la stațiile de emisie omega.

Semnalul sonor cu intensitate maximă se recepționează, desigur, de la stația cea mai apropiată, identificabilă de operator după harta omega; presupunem că această stație este *C*. Sincronizarea se efectuează astfel:

– se observă succesiunea semnalelor luminoase ale dispozitivului de sincronizare „SYNC" și se acționează pe comanda „START-STOP", în poziția „STOP", în momentul iluminării lămpii de semnalizare *C*, de același nume cu stația cea mai apropiată. În această situație, semnalele luminoase încetează și rămâne iluminată doar lampa de semnalizare respectivă *(C)*;

– se ascultă succesiunea semnalelor sonore recepționate și în momentul în care se aude semnalul cel mai intens (al stației *C*), se acționează comanda „START-STOP", în poziția „START". Semnalele luminoase ale dispozitivului de sincronizare „SYNC" încep să funcționeze, în succesiunea arătată;

– se compară cu atenție momentul apariției semnalului luminos (al lămpii *C*) cu cel al audiției semnalului sonor al stației celei mai apropiate *(C)*. *Dacă cele două semnale sunt simultane, sincronizarea este realizată.*

Dacă semnalul luminos apare cu o oarecare retardație față de audiția celui sonor, se acționează comanda „FAST"; invers, când este în avans, se acționează pe

„SLOW". Operația se repetă până la realizarea simultaneității celor două semnale, sonor și optic, moment în care sincronizarea este realizată.

Experimentările efectuate arată că un operator cu o acuitate vizuală și auditivă normală poate realiza sincronizarea cu o acuratețe suficientă, eroarea nedepășind ± 0.05 secunde.

De asemenea, sincronizarea este posibilă și în frecvența de 13.6 sau 11.33 kHz, reglată la dispozitivul de ascultare „MONITOR".

B. Sincronizarea prin comparație cu semnalele orare radio

Acest procedeu se aplică în condițiile când nu se poate obține un semnal sonor omega evident, care să indice una din stațiile de emisie ca fiind cea mai apropiată, datorită poziției navei în raport cu aceasta.

Semnalele orare radio se recepționează cu unul din receptoarele stației de telegrafie a navei.

Așa cum s-a arătat în § 3, emiterea semnalului stației *A* (Norvegia) este riguros sincronizat cu 0, 10, 20, 30, 40 și 50 secunde ale timpului universal, momente care pot fi controlate după semnalele orare radio.

Sincronizarea receptorului omega prin acest procedeu se realizează astfel:

– se acționează comanda „START–STOP", în poziția „STOP", în momentul iluminării lămpii de semnalizare *A*;

– se acționează pe comanda „START–STOP", în poziția „START", în momentul recepției semnalului orar 0, 10, 20, ..., 50 secunde;

– se compară cu atenție momentul inițierii semnalului luminos *A* al dispozitivului de sincronizare „SYNC" cu semnalele orare de 0, 10, ..., 50 secunde. În cazul în care cele două momente coincid, sincronizarea este realizată; în semnalul orar corespunzător, sincronizarea se realizează prin acționarea comenzilor „FAST" sau „SLOW", în modul arătat la metoda precedentă.

3 Controlul automat al sincronizării

Pentru menținerea sincronizării receptorului pe timpul voiajului, acesta este prevăzut cu un dispozitiv automat de control „A.T.C." *(auto timing control);* pe timpul reglării sincronizării, în modul descris mai sus, la punctul 2, acest dispozitiv este deconectat (poziția „OFF").

Controlul automat al sincronizării se realizează prin comparație cu ciclul de emisie, stabilit în raport cu semnalul stației celei mai apropiate, dintre cele patru stații selecționate pentru recepție (în exemplul dat, *A–C* și *B–D*). Identificarea stației celei mai apropiate se face prin audierea celor patru semnale sonore (în succesiunea *A, B, C, D)* cu jackul de ascultare, știind că acestea sunt simultane cu semnalele luminoase de același nume ale dispozitivului de sincronizare „SYNC". Stația cea mai apropiată generează semnalul sonor cel mai intens, care presupunem că este stația *C*.

Dispozitivul de control automat al sincronizării „A.T.C." are patru poziții, corespunzătoare numerelor celor patru stații selecționate pentru recepție: „A.T.C. – STATION – 1, 2, 3, 4". El se reglează în poziția indicată de numărul stației selecționate cea mai apropiată; în exemplul dat, la poziția 2, deoarece stația

selecționată cea mai apropiată este *C* (în poziția stației selecționate „STATION 2“). Prin această reglare, frecvența oscilatorului de înaltă stabilitate al receptorului este pusă sub controlul ciclului de emisie omega, în raport cu stația cea mai apropiată *(C)*, asigurând menținerea sincronizării pe timpul funcționării.

La receptoarele omega care nu sunt prevăzute cu un asemenea dispozitiv automat de control, verificarea și eventuala corectare a sincronizării, în cazul existenței anumitor abateri (care de regulă nu depășesc 0.1 secunde), se execută de către observator pe timpul navigației, la intervale care se recomandă să nu depășească 10 zile.

4 Reglarea receptorului pentru culoarele poziției inițiale. Citirea liniei de poziție omega

Indicatoarele liniilor de poziție „LINE OF POSITION 1“ (linia de poziție 1) și „LINE OF POSITION 2“ (linia de poziție 2) afișează cele două linii de poziție omega prin tuburi numerice, într-un format de șase cifre: primele patru redau *indicele distinctiv* al hiperbolei de diferență de fază zero (egal cu numărul de ordine al culoarului) și următoarele două – diferența de fază în limitele culoarului, exprimată în *sutimi de culoar (centime,* CEL).

Diferența de fază este măsurată automat și afișată continuu, de îndată ce receptorul a fost reglat pe frecvența de 10.2 kHz și s-au efectuat operațiile indicate mai sus.

Numerele *culoarelor inițiale (initial lanes)* al celor două familii de hiperbole, în care se află nava în poziția sa inițială, aparținând perechilor de stații selecționate pentru recepție (în figura 29-2, stațiile *A–C* și *B–D)* se reglează manual înainte de plecarea în voiaj (din port sau de la ancoră). Numerele acestora se scot din harta omega, funcție de *poziția inițială* a navei (punctul de reglare a receptorului). Reglarea se efectuează astfel:

– se scoate din harta omega culoarul inițial în care se află nava, determinat de perechea stațiilor selecționate 1 și 2 (în fig. 29-2, culoarul inițial *AC*-0946), care se introduce prin acționarea manuală a selectorului „INITIAL LANE“ („culoarul inițial“);

Se acționează apoi comanda „LOP 1“ (prescurtare de la „line of position“, linia de poziție 1) și astfel numărul culoarului primei perechi de stații (*A–c*) se înregistrează pe indicatorul liniei de poziție 1 („LINE OF POSITION 1“), pe locul primelor patru cifre ale formatului;

– se scoate din harta omega culoarul inițial determinat de perechea stațiilor 3 și 4 (în fig. 29-2, culoarul inițial *BD*-0832), care se introduce prin acționarea manuală a aceluiași selector „INITIAL LANE“. Se acționează apoi comanda „LOP 2“ (linia de poziție 2) și acesta se înregistrează pe indicatorul liniei de poziție 2 („LINE OF POSITION 2“), pe locul primelor patru cifre.

În exemplul din figura 29-2, citirile omega ale poziției inițiale ale navei sunt:

– linia de poziție 1: *AC*-0946.60, deci hiperbola 946 de diferență de fază zero a perechii de stații *AC* și 60 sutimi de culoar;

– linia de poziție 2: *BD*-0832.99, deci hiperbola 832 de diferență de fază zero și 99 sutimi de culoar.

După efectuarea tuturor operațiunilor indicate mai sus, receptorul omega este pregătit pentru plecare. Odată cu deplasarea navei pe timpul navigației, sutimile de culoar sunt măsurate automat și afișate continuu; numărul lor crește sau descrește, funcție de deplasarea navei în raport cu perechile de stații recepționate.

De asemenea, urmărirea în continuare și afișarea numerelor culoarelor pe indicatoarele liniilor de poziție se efectuează automat.

Determinarea punctului navei se poate face deci *continuu*, cu observații *simultane*, prin executarea următoarelor operațiuni: efectuarea citirilor omega, aplicarea corecției de reflexie a undei, determinarea punctului navei prin intersecția liniilor de poziție pe harta omega sau cu tablele omega.

5 Înregistrarea diferenței de fază (chart recorder)

Înregistrarea se efectuează pe o diagramă cu două canale (fig. 29-3), pe care se marchează continuu diferențele de fază la cele două perechi de stații, exprimate în sutimi de culoar.

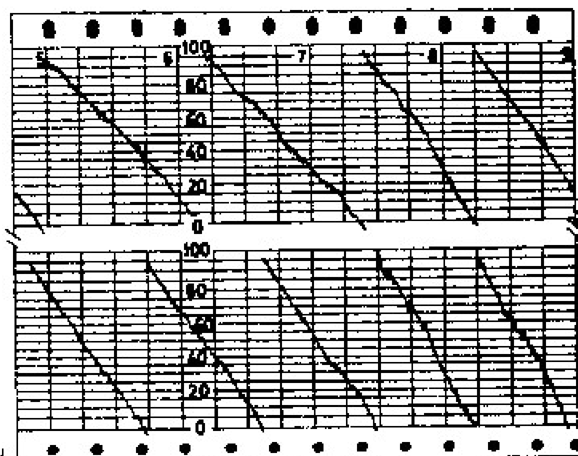


Fig. 29-3

Sistemul de axe de înregistrare este următorul:

– pe orizontală se măsoară timpul; un interval între două linii verticale alăturate este egal cu 15 minute;

– pe verticală se măsoară sutimile de culoar (0, 20, 40, ... 100) ale celor două linii de poziție, gradațiile respective fiind marcate pe diagramă la intervale de o oră.

Observarea diagramei variației diferenței de fază funcție de timp să posibilitatea verificării modului de funcționare a receptorului, a acurateței indicațiilor, a determinării unei valori medii a diferenței de fază – în cazul unor variații mari a acesteia datorită condițiilor de propagare, precum și a stabilirii drumului navei în raport cu direcțiile liniilor de poziție hiperbolice.

6 Selecționarea unor noi perechi de stații pe timpul navigației

În cazul executării unor traversade pe distanțe mari, ca urmare a schimbării considerabile a poziției navei în raport cu stațiile selecționate în portul de plecare (poziția inițială), este posibil ca condițiile de recepție și de intersecție a liniilor de

poziție să devină defavorabile. Într-o asemenea situație se impune selecționarea unor noi perechi de stații; pentru aceasta se procedează astfel:

– se determină punctul omega cu perechile de stații selecționate în portul de plecare, în condiții în care recepția, precum și intersecția liniilor de poziție sunt încă favorabile. Față de acest punct se ține, în continuare, estima;

– se selecționează noile perechi de stații ce oferă condiții mai favorabile de recepție și intersecție a liniilor de poziție, după indicațiile hărții omega (în modul arătat mai sus, la punctul 1);

– se reglează receptorul pentru culoarele noilor familii de hiperbole (în modul indicat mai sus la punctul 4), care se determină în raport cu punctul estimat al navei.

Operația fiind de ordinul minutelor, condiția de precizie minimă a punctului estimat, de ± 4 Mm (vezi § 2), se consideră ca satisfăcută, astfel ca să nu se introducă erori în numărul culoarelor noilor perechi de stații selecționate pentru recepție.

7 Identificarea culoarului

Lățimea culoarului determinat de semnalul omega de-a lungul liniei de bază este de aproximativ 8 Mm; odată cu depărtarea de linia de bază, această lățime crește. Așa cum s-a arătat mai sus la § 2 rezultă că numărul culoarului omega este definibil, dacă punctul estimat al navei este cunoscut cu o precizie minimă de ± 4 Mm, în cazul în care receptorul se reglează pe timpul navigației.

Urmând însă indicațiile date mai sus, de reglare a receptorului în *poziția inițială* (portul sau ancorajul de plecare), de coordonate omega ușor determinabile și menținerea acestuia în funcție pe timpul voiajului, în condiții normale, identificarea culoarelor nu este necesară. În navigația maritimă, această operație se impune destul de rar (în caz de întrerupere a funcționării receptorului și incertitudine mare în estimă etc.); operația este necesară însă frecvent în navigația aeriană, unde se folosește același tip de receptor.

Identificarea culoarului determinat de o anumită pereche de stații se realizează printr-un artificiu de recepție; *receptorul se reglează pentru recepția simultană a semnalelor omega ale aceleiași perechi de stații,* în două etape succesive, astfel: semnalele în frecvențele de 10.2 și 13.6 kHz; semnalele în frecvențele de 10.2 și 13.6 kHz; semnalele în frecvențele de 10.2 și 11.33 kHz.

În cazul recepției simultane a semnalelor în frecvențele de 10.2 și 13.6 kHz, *indicatorul liniei de poziție 1* („LINE OF POSITION 1") redă diferența de fază $\Delta\Phi_1$ a semnalelor în frecvența de 10.2 Khz, iar *indicatorul liniei de poziție 2* („LINE OF POSITION 2") afișează diferența de fază $\Delta\Phi_2$ a semnalelor în frecvența de 13.6 kHz; modul de reglare a receptorului pentru realizarea acestor măsurători se prezintă mai jos.

Diferența $\Delta\Phi_2 - \Delta\Phi_1 = \Delta\Phi_3$ reprezintă diferența de fază a unui semnal de frecvență 13.6 − 10.2 = 3.4 kHz. Dar diferența de frecvență 3.4 kHz $= \frac{10.2}{3}$; deci semnalul de frecvență 3.4 kHz este capabil să genereze o familie de hiperbole ale cărei culoare, pe linia de bază, au o lățime de: 8 Mm × 3 = 24 Mm; 8 Mm reprezintă lățimea unui culoar al semnalului de 10.2 kHz. Din cele arătate rezultă că un culoar al semnalului de frecvență 3.4 kHz cuprinde trei culoare ale semnalului în frecvența de bază 10.2 kHz.

În cea de a doua etapă, la recepția simultană a semnalelor în frecvențele de 10.2 și 11.33 kHz ale aceleiași perechi de stații, *indicatorul liniei de poziție 1* („LINE OF POSITION 1") prezintă diferența de fază $\Delta\Phi_4$ asemnalelor în frecvența de 11.33 kHz.

Diferența $\Delta\Phi_4 - \Delta\Phi_1 = \Delta\Phi_5$ reprezintă diferența de fază a unui semnal de frecvență $11.33 - 10.2 = 1.13 \text{ kHz} = \frac{10.2}{9}$. Deci semnalul de frecvență 1.13 kHz este capabil să genereze o familie de hiperbole ale cărei culoare, pe linia de bază, au o lățime de 8 Mm × 9 = 72 Mm. Rezultă că un culoar al semnalului în frecvența de 1.13 kHz cuprinde nouă culoare ale semnalului în frecvența de bază de 10.2 kHz.

Considerând că se cunosc diferențele de fază $\Delta\Phi_1$, $\Delta\Phi_3$ și $\Delta\Phi_5$, corespunde semnalelor în frecvențele de 10.2, 3.4 și respectiv 1.13 kHz, culoarul perechii de stații recepționate este determinabil dacă punctul estimat al navei se cunoaște cu o precizie de ± 36 Mm (reprezentând 1/2 din culoarul cu lățimea de 72 Mm definit de semnalul de 1.13 kHz).

Se intră cu diferențele de fază $\Delta\Phi_1$, $\Delta\Phi_3$ și $\Delta\Phi_5$, corespunzătoare semnalelor în frecvențele de 10.2, 3.4, și respectiv 1.13 kHz, culoarul perechii de stații recepționate este determinabil dacă punctul estimat al navei se cunoaște cu o precizie de ± 36 Mm (reprezentând 1/2 din culoarul cu lățimea de 72 Mm definit de semnalul de 1.13 kHz).

Se intră cu diferențele de fază $\Delta\Phi_5$, $\Delta\Phi_3$ și $\Delta\Phi_1$ în *harta omega pentru identificarea culoarului („lane identification chart")* și se delimitează succesiv culoarul semnalului de 1.13 kHz, cel interior de 3.4 kHz și în final – cel al semnalului frecvenței de bază, de 10.2 kHz, care intersectează pentru reglarea receptorului omega.

Operarea receptorului în scopul măsurării succesive a diferențelor de fază arătate mai sus se face în două etape.

Astfel presupunem că se impune identificarea culoarului determinat de perechile de stații *A – D*. Știind că semnalul în frecvența de 13.6 kHz, al fiecărei stații, este decalat cu un interval față de cel de 10.2 kHz (vezi fig. 29-1), pentru a recepționa simultan semnalele perechii de stații *A – D* în frecvențele de 10.2 și respectiv de 13.6 kHz, receptorul se reglează astfel (vezi fig. 29-2):

– frecvența liniei de poziție 1 („FREQUENCY-LOP 1") se fixează pe 10.2 kHz, iar a liniei de poziție 2 („FREQUENCY-LOP 2") pe 13.6 kHz;

– la perechea de „stații 1 și 2" („STATION-1, 2") se selectează stațiile *A* și *D*, al căror culoar trebuie identificat, iar la 3 și 4 („STATION-3, 4") – se reglează pozițiile *B* și *E*. Acest mod de reglare a „stațiilor 3 și 4" este determinat de faptul că semnalele în frecvența de 13.6 kHz ale stațiilor *A – D* sunt decalate cu un interval față de cele de 10.2 kHz (vezi fig. 29-1), deci în pozițiile imediat următoare, *B – E*.

În aceste condiții, ultimele două cifre ale *indicatorului liniei de poziție 1* („LINE OF POSITION 1") reprezintă diferența de fază $\Delta\Phi_1$ a semnalelor stațiilor *A – D* în frecvența de 10.2 kHz; *indicatorul liniei de poziție 2* („LINE OF POSITION 2") redă diferența de fază $\Delta\Phi_2$ a semnalelor aceleiași perechi de stații – în frecvența de 13.6 kHz.

În a doua etapă, pentru recepția simultană a semnalelor de 10.2 kHz și respectiv de 11.33 kHz a perechii de stații *A – D*, a cărei culoar trebuie determinat, se ține seama de faptul că semnalul de 11.33 kHz al fiecărei stații este decalat cu două intervale față de cel de 10.2 kHz (vezi fig. 29-1). În continuare deci, se comută frecvența liniei de poziție 2 („FREQUENCY LOP 2") pe 11.33 kHz, iar selectorul stațiilor 3 și 4 („STATION-3, 4") pe pozițiile *C* și respectiv *F*, la două intervale de *A* și respectiv *D*.

În acest mod, *indicatorul liniei de poziție 1* („LINE OF POSITION 1") exprimă diferența de fază $\Delta\Phi_1$ a semnalelor perechii de stații *A – D* în frecvența de 10.2 kHz, iar *indicatorul liniei de poziție 2* – diferența de fază $\Delta\Phi_2$ a semnalelor acelorași stații, în frecvența de 11.33 kHz.

Din $\Delta\Phi_1$, $\Delta\Phi_2$, $\Delta\Phi_4$ se calculează apoi $\Delta\Phi_3$ și $\Delta\Phi_5$, în modul indicat mai sus, cu care se procedează la identificarea culoarului perechii de stații (în exemplul dat, *A – D*).

§5 Corecția pentru unda reflectată

Sistemul omega fiind aplicat la distanțe mari de stațiile de emisie, se bazează pe folosirea undei reflectate. De aceea, *citirea omega (omega reading)* se consideră făcută întotdeauna la *unda reflectată.*

Hărțile și tablele omega sunt întocmite însă având la bază diferența de fază a undei directe. În consecință, *citirea omega la unda reflectată (T_S, skywave reading)* trebuie convertită în citirea corespunzătoare la *unda directă (T_G, groundwave reading),* prin aplicarea *corecției pentru unda reflectată (SWC, Skywave correction):* $T_G = T_S + SWC$.

Corecția pentru unda reflectată este egală cu defazajul dintre unda reflectată și unda directă a aceluiași semnal omega, într-un punct; se exprimă în sutimi de culoar. Ignorarea ei în determinarea punctului omega poate cauza erori mari, depășind 35 Mm.

Valorile corecției pentru semnalul de 10.2 Khz se obține din *tablele corecției pentru unda reflectată* (conținute la începutul *tablelor omega),* întocmite pentru fiecare pereche de stații și anumite poziții de referință, exprimate prin coordonatele lor geografice. Valoarea corecției, care poate fi pozitivă sau negativă, se exprimă funcție de oră (în timp mediu la Greenwich) și perioada bilunară a observației. Astfel, tabelul 29-3, redă un extras din tabla corecției pentru unda reflectată a perechii de stații *A – D*, în punctul de referință 16°N și 40°W, conținută în *tabla omega* a zonei 12 din Atlanticul de nord, perioada 16 ianuarie – 14 februarie.

Perechea de stații: *A – D*
Poziția: $\varphi = 16°$ N; $\lambda = 40°$W

Tabelul 29-3

Data	GMT (Timpul mediu la Greenwich)									
	00	01	...	06	...	10	... ...	17	...	24
16–31 JAN.	–035	–035		–035		15		–014		–035
1–14 FEB.	–035	–035		–035		14		–011		–035

Astfel, de exemplu, corecția undei reflectate pentru perechea de stații *A – D*, în punctul de referință dat, în ziua de 25 ianuarie la ora 10.00 (timp mediu la Greenwich) este + 0.15 sutimi de culoar, iar la ora 17.00, de – 0.14.

Corecțiile indicate în aceste table reprezintă valori medii; ele pot avea însă variații datorită oricărui fenomen capabil să influențeze viteza de propagare a undei. Între acestea, efectul razelor solare este de mare importanță. Acesta este parțial exprimat prin argumentul, data și ora observației, în locul unde se efectuează citirea omega. Dar pe traiectoria descrisă de undă de la stația de emisie la receptor, uneori de ordinul miilor de mile, condițiile pot fi considerabil diferite. Aceasta este una din sursele care cauzează aproximația punctului omega.

Controlul corecției undei reflectate se poate efectua pe timpul staționării în port sau la ancoră, într-un punct deci de coordonate omega precis determinabile, din harta omega. Diferența dintre citirea omega T_S la o pereche de stații și citirea liniei de poziție T_G scoasă din hartă (funcție de poziția navei), dă valoarea reală a corecției undei reflectate: $SWC = T_S - T_G$.

§6 Punctul omega. Hărțile și tablele omega

Punctul omega se determină prin intersecția a două linii de poziție, obținute din două citiri omega T_S simultane; o citire omega conține: perechea de stații observate, indicele distinctiv al hiperbolei de diferență de fază zero (care este același cu numărul de ordine al culoarului) și sutimile de culoar. După aplicarea corecției pentru unda reflectată, se procedează la intersecția liniilor de poziție de harta omega sau cu ajutorul tablelor omega.

1 Harta omega (omega lattice chart)

Harta omega cuprinde proiecția familiilor de hiperbole sferice determinate de perechile de stații; figura 29-4 redă o porțiune dintr-o hartă omega, care reprezintă familiile de hiperbole ale perechilor de stații $A - C$ (Norvegia–Hawaii), $B - D$ (insula Trinidad–New York), $B - C$ (Hawaii–insula Trinidad) și $A - D$ (Norvegia–New York).

Fiecare hiperbolă de diferență de fază zero trasată pe hartă are o notație formată din: perechea de stații căreia aparține și indicele distinctiv al acesteia (egal cu numărul de ordine al culoarului). Astfel, hiperbolele *BD*-1005, 1002, 999 etc. aparțin familiei perechii de stații $B - D$ (insula Trinidad–New York); două hiperbole alăturate ale aceleiași familii, din figura 29-4, delimitează deci trei culoare. Se observă că notațiile hiperbolelor din hartă au același conținut cu citirile făcute la receptor (mai puțin sutimile de culoar), fapt care facilitează identificarea liniilor de poziție.

Trasarea liniei de poziție pe harta omega se face prin interpolare grafică, în raport de hiperbolele conținute în hartă. Deoarece hărțile omega sunt la scări relativ mici, pentru determinarea punctului navei se recomandă utilizarea cu prioritate a tablelor omega.

Pe lângă rezolvarea problemei de poziție, hărțile omega servesc la determinarea culoarelor în care se află nava, pentru reglarea corespunzătoare a receptorului (vezi § 4, p. 4), precum și la selecționarea perechilor de stații care oferă condiții favorabile de recepție și intersecție a liniilor de poziție (vezi § 4, p. 1).

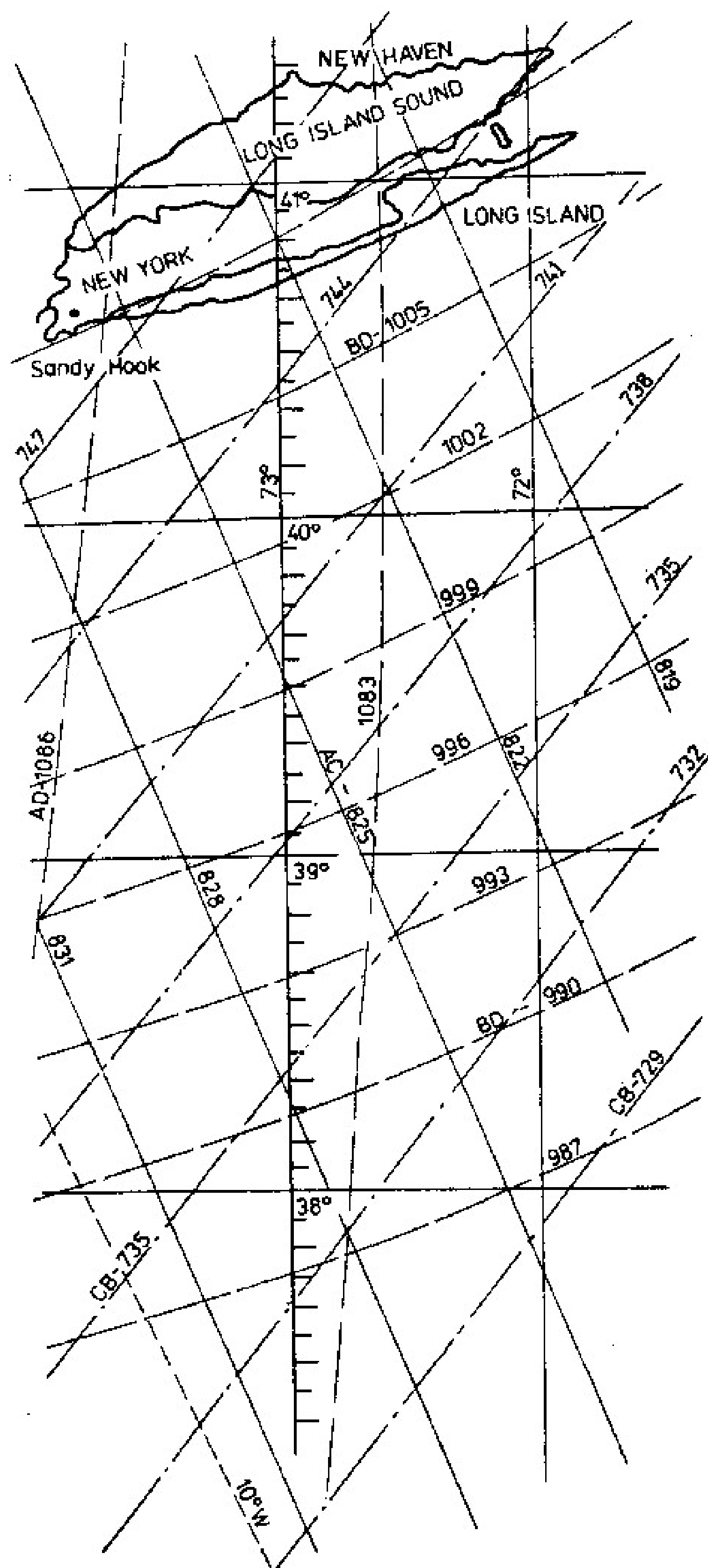

NEW HAVEN
LONG ISLAND SOUND
41°
LONG ISLAND
NEW YORK
Sandy Hook
744
BD-1005
741
738
1002
747
73°
72°
40°
999
735
619
1083
AD-1086
996
822
AC-1825
732
39°
828
993
831
BD
990
CB-729
987
38°
CB-735
10°W

Fig. 29-4

2 Tablele omega

Principiul întocmirii tablelor omega şi al determinării punctului navei cu acestea este acelaşi cu cel descris la sistemul loran (cap. 27, § 6, pct. 2); diferenţa constă în faptul că argumentul de intrare în tablele omega este diferenţa de fază.

Pentru întocmirea tablelor omega, suprafaţa Pământului s-a considerat împărţită în 24 de zone, numerotate de la 01 la 24; astfel, de exemplu, zona 12 cuprinde o parte a Atlanticului de nord, delimitată de ecuator, paralelul 45°N, meridianele 0° şi 60°W. *Harta zonelor omega (omega table areas)* este redată pe prima filă a fiecărei table omega.

Pentru fiecare zonă omega sunt întocmite cel puţin câte patru table, câte una pentru fiecare pereche de staţii. Fiecare tablă are o serie de identificare; astfel, de exemplu, seria „H.O.PUB. No 224 (112) PAIR B–C" are următoarea semnificaţie: „H.O.PUB. No 224" indică faptul că este o publicaţie omega; prima cifră din paranteză, 1, arată că publicaţia se referă la frecvenţa 1, adică 10.2 kHz; a doua şi a treia cifră din paranteză, 12, indică zona omega, perechea de staţii *B–C*.

Argumentul *T (tabulated reading)* de intrare în table este numărul culoarului corespunzător citirii omega pentru unda directă în 10.2 kHz, la precizie de culoar. Pe fiecare coloană se redă latitudinea sau longitudinea în care hiperbola determinată de *T* intersectează meridianul (indicat în tablă prin „Long") sau respectiv paralelul (indicat prin „Lat."), funcţie de orientarea hiperbolei (vezi explicaţiile de la cap. 27, § 6, p. 2).

Astfel, tabelul 29-4 redă un extras din tabla omega „H.O.PUB. No 224 (112) PAIR A–D"; el conţine longitudinile punctelor de intersecţie ale hiperbolelor *A–D* 978 şi *A–D* 979 cu paralele de latitudine 15°N şi 16°N.

Tabelul 29-4

T	*A – D* 977	*A – D* 978		*A – D* 979	
Lat.			Δ		Δ
15°N		39°52′.0 W	164	40°08′.5 W	164
16°N		40°02′.1 W	163	40°18′.4 w	163

Tabelul 29-4 arată că hiperbola *A – D* 979, de exemplu, are o orientare generală nord-sud, care intersectează paralel φ_1 = 15°N în longitudinea λ_1 = 40°08′.5 W, iar paralelul φ_2 = 16°N în λ_2 = 40°18′.4W. Mărimea Δ exprimă variaţia longitudinii punctului de intersecţie pentru intervalul de un culoar; aceasta serveşte la calculul diferenţei de longitudine Δλ a punctului de intersecţie pentru diferenţa $T_G - T$, în sutimi de culoar, din produsul algebric: $\Delta\lambda = (T_G - T) \cdot \Delta$.

Tabelul 29-5 redă un extras din tabla omega a perechii de staţii *B–D*, zona 12; el conţine latitudinile punctelor de intersecţie ale hiperbolelor *B – D* 825 şi *B – D* 826 cu meridianele de longitudine 40°W şi 41°W.

Tabelul 29-5

T	*B – D* 825		*B – D* 826		*B – D* 827	
Long.		Δ		Δ		
40°W	14°47′.8 N	172	15°05′.1 N	171		
41°W	15°10′.1 N	167	15°26′.8 N	166		

Tabelul 29-5 arată că hiperbola $A - D$ 826, de exemplu, are o orientare generală est-vest, care intersectează meridianul $\lambda_2 = 41°W$ $\varphi_2 = 15°26' \cdot 8N$. Mărimea Δ exprimă variația latitudinii punctului de intersecție pentru intervalul de un culoar; diferența de latitudine $\Delta\varphi = (T_G - T)\,\Delta$.

Intrarea în table se face pe coloana T cea mai apropiată de T_G, deci diferența $(T_G - T)$ poate fi pozitivă sau negativă.

Exemplu. În ziua de 12 februarie 1975 la ora 06.00 (timp mediu la Greenwich), în punctul estimat $\varphi e = 15°08'N$; $\lambda e = 40°19'W$ se fac următoarele citiri omega:

– la perechea de stații $A - D$ ... $T_S = 979.65$

– la perechea de stații $B - D$ ... $T_S = 825.72$

Se cere punctul omega.

Rezolvare:

a – Linia de poziție 1:

$$\begin{array}{rl} T_S = & 979.65 \\ + SWC = & -0.35 \text{ ....tabelul 29-3} \\ \hline T_G = & 979.30 \end{array} \qquad \begin{array}{rl} T_G = & 979.30 \\ T = & 979.00 \\ \hline T_G - T = & +0.30 \end{array}$$

Lat.	Long. λ_T (din tablă)	Var. Δ	$(T_G - T) \times \Delta = \Delta\lambda$	$\lambda = \lambda_T + \Delta\lambda$
15° N	40°08'.5 W	+ 16'.4	(+0.30) × (+16'.4) = +4'.92	40°13'.4 W
16° N	40°18'.4 W	+ 16'.3	(+0.30) × (+16'.3) = +4'.89	40°23'.3 W

b – Linia de poziție 2:

$$\begin{array}{rl} T_S = & 825.72 \\ SWC = & +0.18 \\ \hline T_G = & 825.90 \end{array} \qquad \begin{array}{rl} T_G = & 825.90 \\ T = & 826.00 \\ \hline T_G - T = & -0.10 \end{array}$$

Long.	Lat. φ_T (din tablă)	Var. Δ	$(T_G - T) \times \Delta = \Delta\varphi$	$\varphi = \varphi_T + \Delta\varphi$
40° W	15°05'.1 N	+17'.1	(–0.10) × (+17'.1) = –1'.71	15°03'.4 N
41° W	15°26'.8 N	+16'.6	(–0.10) × (+16'.6) = –1'.66	15°25'.1 N

c – Observații privind modul de rezolvare:

– datele de calcul folosite sunt conținute în tabelele 29-4 și 29-5, extrase tablele omega ale perechilor de stații observate;

– φ_T și λ_T sunt latitudinile și respectiv longitudinile scoase din table în funcție de liniile omega *T* cele mai apropiate de citirile T_G;

– corecția pentru unda reflectată *(SWC)* a primei linii de poziție este conținută în tabelul 29-3.

d – Determinarea punctului navei (fig. 29-5):

Din datele obținute mai sus rezultă că punctele de intersecție ale *liniei de poziție 1* sunt:

M_1 (φ = 15°N; λ = 40°13′.4W);

M_2 (φ = 16°N; λ = 40°23′.3W),

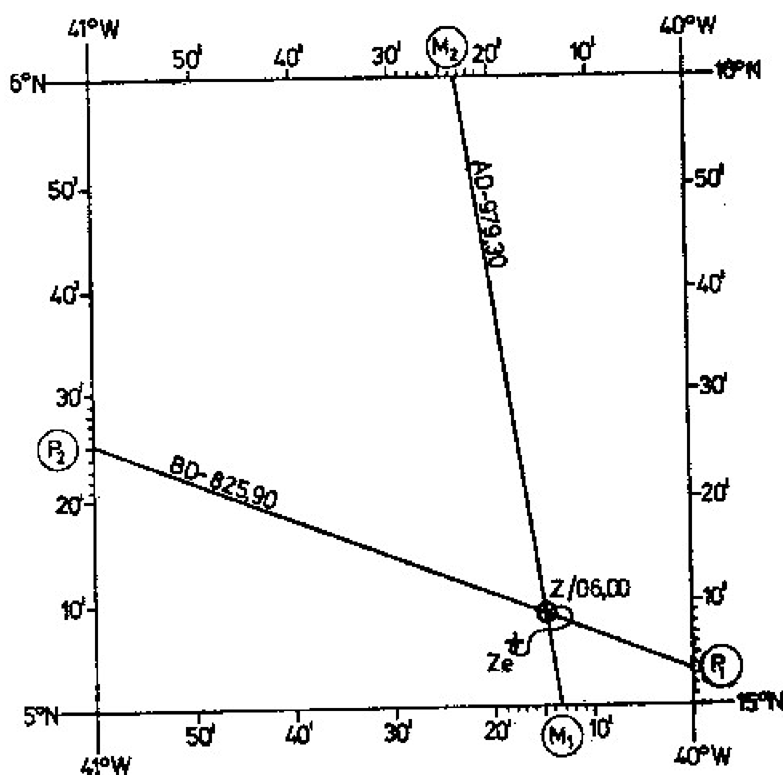


Fig. 29-5

iar ale *liniei de poziție 2:*

P_1 (λ = 40°W; φ = 15°03′.4N);

P_2(λ = 41°W; φ = 15°25′.1N).

Se trasează segmentele loxodromice M_1M_2 și P_1P_2 – și la intersecția lor se obține *punctul omega* Z pentru ora 06.00, de coordonate: φ = 15°08′.8N; λ = 40°14′.8W.

Problema se rezolvă pe harta de navigație sau pe un grafic cu scara latitudinilor și longitudinilor, construit pentru zona delimitată de paralelele 15°N, 16°N și meridianele 40°W și 41°W (vezi cap. 7, §5, pct. 7), în cazul în care harta este la o scară insuficient de precisă.

30 RADARUL ÎN NAVIGAŢIA MARITIMĂ

§1 Generalităţi

*Radarul** este mijlocul de radiolocaţie care serveşte la detectarea obiectelor (nave, geamanduri, coastă etc., numite „ţinte") din zona acoperită de bătaia acestuia, precum şi la măsurarea relevmentului şi a distanţei la ele.

Pentru realizarea acestor performanţe, radarul se bazează pe principiul ecoului, aplicat de mult în navigaţie, la scara oferită de mijloacele vremii. Astfel, pe timp de ceaţă, la emiterea unui sunet scurt de sirenă, dacă acesta întâlneşte un obstacol capabil să-l reflecte, distanţa la obiect este egală cu jumătatea produsului dintre intervalul de timp măsurat între momentul emiterii semnalului şi cel al recepţiei ecoului, prin viteza de propagare a sunetului în atmosferă. Direcţia aproximativă la obiect este indicată de direcţia de intensitate maximă a ecoului, raportată la zona compasului. De asemenea, sonda ultrason aplică principiul ecourilor ultrasunetelor produse de fundul mării, pentru determinarea adâncimii apei.

Părţile componente principale ale radarului sunt: emiţătorul de impulsuri foarte scurte de energie electromagnetică, antena rotativă cu fascicul dirijat, receptorul şi indicatorul; emiţătorul şi receptorul funcţionează pe aceeaşi antenă, instalaţia fiind prevăzută cu un comutator automat de emisie-recepţie.

Radarul aplică principiul ecoului astfel:

– antena emite impulsuri foarte scurte de energie electromagnetică, cu o perioadă de repetiţie regulată, care se propagă sub forma unor fascicule înguste;

– la întâlnirea unui obiect („ţintă") pe direcţia de propagare a impulsului, o parte din energia electromagnetică reflectată se întoarce la navă sub formă de *„ecou"*, fiind recepţionată de aceeaşi antenă;

– distanţa la obiect este determinată funcţie de intervalul de timp dintre momentul emisiei impulsului şi cel al recepţiei ecoului (aceluiaşi impuls) şi de viteza de propagare a radioundei;

– relevmentul la obiect este determinat de direcţia antenei în momentul emisiei-recepţie impulsului.

Realizarea practică a radarului nu a fost însă pe măsura simplităţii principiului. Primele aplicaţii ale ecoului radioundelor au avut loc în anul 1920, cu

---

* Denumirea de *radiolocator* utilizată uneori pentru *radar* nu este potrivită, deoarece toate mijloacele electronice de navigaţie (radiogoniometru, decca etc.) sunt mijloace de radiolocaţie, de determinare a poziţiei prin folosirea anumitor proprietăţi ale radioundelor.

ocazia cercetărilor efectuate pentru determinarea înălțimii straturilor ionizate ale atmosferei.

Posibilitatea aplicării reflexiei radioundelor la rezolvarea problemei determinării poziției unui obiect a fost formulată de Marconi în anul 1922. Primele preocupări practice, în domeniul militar, de descoperire a avioanelor și navelor inamice, au fost inițiate în anul 1935. Astfel, primul radar naval, de performanțe modeste, a fost realizat în anul 1939.

Izbucnirea celui de al doilea război mondial a determinat necesitatea perfecționării radarului, astfel ca să-l facă apt pentru detectarea unor ținte mici și măsurarea cu precizie a relevmentului și distanței la ele. Asemenea performanțe implicau însă necesitatea folosirii la emisie a unor unde ultrascurte, centrimetrice, care să permită concentrarea energiei electromagnetice emise într-un fascicul foarte îngust, menținut în cea mai mare parte a sa aproape de suprafața apei. Caracteristicile tuburilor electronice cunoscute în acea perioadă făceau să pară că asemenea performanțe erau nerealizabile.

Momentul critic a fost surmontat cu succes în anul 1940, odată cu realizarea *magnetronului, generator de oscilații în gama undelor centimetrice și chiar milimetrice*. Acesta a constituit mijlocul care a revoluționat tehnologia fabricației radarului. În continuare, radarul a devenit unul din mijloacele de mare eficiență folosit de aliați în războiul aero-naval; combaterea cu succes a submarinelor germane, a căror prezență putea fi detectată la precizia vârfului de periscop scos la suprafața apei, începând din anul 1941, reprezintă o mărturie a evoluției rapide a radarului în această perioadă.

După terminarea războiului, radarul a devenit unul din mijloacele de bază ale navigației maritime moderne. *Convenția internațională pentru ocrotirea vieții umane pe mare* (1960), Anexa D, *„Recomandări"* art. 24, recomandă instalarea radarului la navele maritime, cu următoarele performanțe minime:

a – La o navă cu un ruliu de 10°, radarul trebuie să reprezinte clar:

– o navă de 5000 TRB situată la distanța de cel puțin 7 Mm;

– un obiect, cum ar fi o geamandură de navigație, aflat la distanța de cel puțin 2 Mm;

b – Bătaia minimă de cel puțin 92 m;

c – Precizia minimă a măsurătorilor la un obiect situat la o distanță mai mare de 0,75 Mm:

± 2° în măsurarea relevmentului;

± 6% din distanță, la măsurarea distanțelor.

Radarul are o dublă aplicație în navigația maritimă modernă:

– determinarea punctului navei prin indicații *spontane* și *continue*. Utilitatea lui în acest domeniu este deosebit de importantă mai ales în condiții de vizibilitate redusă și în general, în zone dificile de navigație;

– detectarea navelor din zona de navigație și rezolvarea problemelor de evitare a abordajului. Această aplicație este de o importanță covârșitoare pentru siguranța navigației maritime îndeosebi pe timp cu vizibilitate redusă, în condițiile traficului intens actual și a navelor de mare tonaj, ale căror particularități de manevră impun luarea de măsuri judicioase de evitare, din timp și de la distanțe apreciabile. Prin posibilitățile oferite de radar, știința navigației maritime moderne și-a lărgit astfel obiectul de studiu și aplicație cu un nou domeniu: evitarea abordajelor pe mare.

§2 Principiul funcționării instalației radar

Figura 30-1 reprezintă schema bloc a unei instalații radar. *Oscilatorul pilot* generează impulsuri electrice foarte scurte, cu o durată de 0.05 la 0.5 μs. Frecvența de repetiție a impulsuriloc este de 500 la 4000 impulsuri pe secundă.

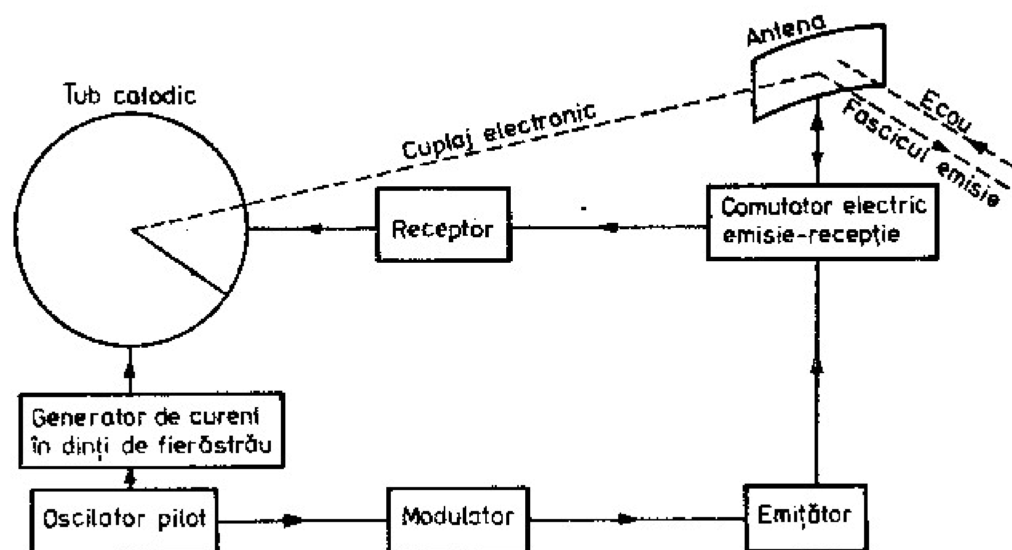


Fig. 30-1

Figura 30-2 reprezintă grafic generarea unor impulsuri cu o perioadă de repetiție de 1000 μs.

Impulsurile sunt trecute într-un *modulator*, a cărui funcție este de a genera o tensiune foarte înaltă pentru un interval de timp foarte scurt, de aproximativ

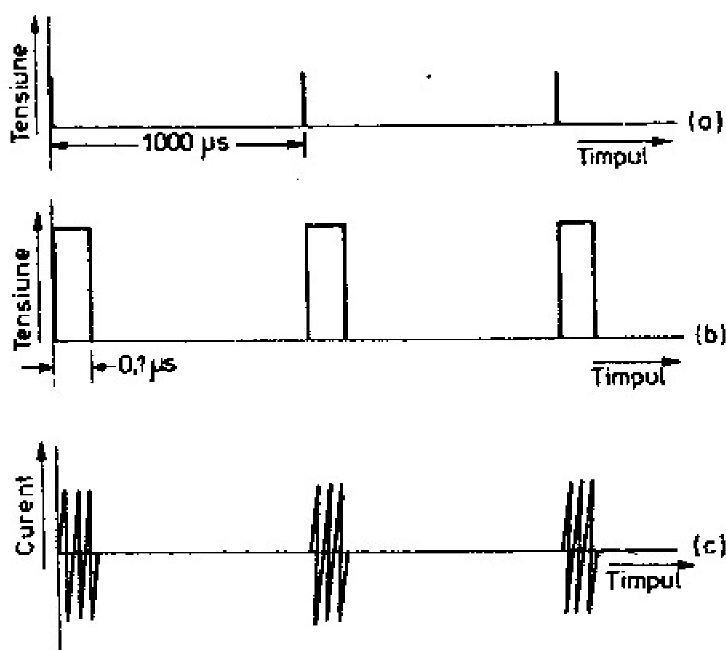


Fig. 30-2

0.1μs. La unele tipuri de radaruri, modulatorul se compune dintr-un *tiraton* sau *trigatron* (tuburi de rezistență joasă), o linie de formare și o impedanță de încărcare. Linia de formare constă dintr-o combinație de bobine și condensatoare, care se

încarcă în pauza dintre impulsuri. La primirea impulsului de la oscilatorul pilot se produce ionizarea tiratronului (sau trigatronului), a cărui rezistenţă interioară scade brusc. Linia de formare îşi descarcă complet energia acumulată prin intermediul tiratronului (sau a trigatronului), sub forma unui impuls aproape dreptunghiular (fig. 30-2 *b*), de tensiune foarte înaltă şi o durată foarte scurtă, de aproximativ 0.1μs, care alimentează emiţătorul.

Emiţătorul transformă impulsurile prin ite de la modulator în oscilaţii electromagnetice de frecvenţă ultra înaltă (circa 9400 MHz) şi o putere utilă foarte mare (fig. 30-2 *c*), prin intermediul *magnetronului cu cavităţi rezonante.* Acesta este un tub electronic cu vid înaintat, generator de oscilaţii în gama undelor centimetrice sau chiar milimetrice, care permite obţinerea unor puteri utile foarte mari. La radarurile navale, magnetroanele aparţin tipurilor din „banda X", care generează o energie electromagnetică ce oscilează corespunzător lungimii de undă 3–10 cm, cu o putere de 30–50 kW.

Energia electromagnetică generată (fig. 30-2 *c*) este transmisă la antenă printr-un ghid de undă şi prin intermediul unui comutator electronic de emisie-recepţie. Antena radiază această energie pe direcţia în care se află orientată în momentul emisiei.

Ghidul de undă este de forma unui conductor tubular, de regulă – de secţiune rectangulară, ai cărui pereţi sunt confecţionaţi din cupru. Deformarea pereţilor ghidului de undă (prin lovire etc.) sau depunerea de corpuri străine în interiorul lui poate afecta apreciabil performanţele emisiei.

Antena radarului naval este de tipul cu *explorare mecanică;* ea efectuează dirijarea radiaţiei impulsurilor de energie electromagnetică pe întreg orizontul, printr-o mişcare uniformă de rotaţie (10–30 rotaţii/minut), sub acţiunea unui motor electric la care este cuplată. Ea îndeplineşte funcţia dublă de antenă de emisie şi recepţie, comutarea făcându-se automat prin intermediul comutatorului electronic-recepţie. În exemplul dat (fig. 30-2), emiţătorul este deci activ timp de 0.1 μs şi se află în pauză pentru o perioadă de 999.9 μs; în această pauză, antena rămâne disponibilă pentru recepţia ecoului posibil de la ultimul impuls transmis.

Comutatorul electronic de emisie-recepţie conectează automat antena la emiţător şi o deconectează de receptor pe timpul emisiei şi invers. Funcţionarea ireproşabilă a acestuia este de foarte mare importanţă pentru protecţia receptorului radar, de înaltă sensibilitate, dat fiind puterea mare la emisie a impulsurilor (de 30 la 50 kW).

Timpul în care antena efectuează o explorare completă a orizontului este limitat de mai mulţi factori. În general, mişcarea ei de rotaţie trebuie să fie suficient de lentă, astfel ca ecoul recepţionat să nu fie prea mult atenuat ca urmare a faptului că în momentul recepţiei antena nu mai este orientată exact spre ţintă. Această condiţie este cu atât mai restrictivă cu cât precizia necesară determinării relevmentului şi distanţei este mai mare. La radarurile navale, durata unei explorări complete este de regulă cuprinsă între 2 şi 6 secunde (ceea ce corespunde unei mişcări de 30–10 rot/min).

Figura 30-3 reprezintă o *antenă cu fante,* care este aproape generalizată în prezent la radarurile navale moderne. Ghidul de undă este alimentat la un capăt, iar celălalt este închis. Peretele frontal al acestuia prezintă o serie de fante verticale; ele întrerup curentul ce trece normal prin intermediul pereţilor ghidului de undă, asigurând radierea

unui fascicul îngust al radioundelor. Un reflector simplu de dimensiuni relativ reduse realizează o focalizare suficientă în planul vertical al emisiei. Rotirea este asigurată de un motor electric cuplat la sistemul mecanic de rotaţie.

Lăţimea fasciculului realizat cu acest tip de antenă este de 0°.6 la 2°, iar înălţimea de circa 20° (vezi fig. 30-14); înălţimea mare a fasciculului este favorabilă, deoarece se evită astfel lipsa formării ecourilor în condiţii de ruliu şi tangaj ale navei.

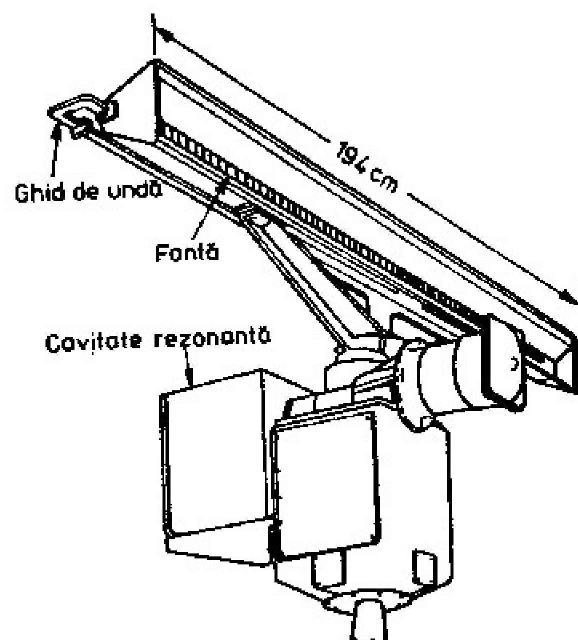


Fig. 30-3

Pe lângă realizarea acestor parametri favorabili, antena cu fante prezintă avantajul unei rezistenţe reduse împotriva vântului, iar la aceleaşi dimensiuni – produce lobi de radiaţie laterali mai mici (vezi § 7) decât celelalte tipuri de antene folosite până în prezent.

Parte din energia reflectată de ţintă este recepţionată de reflectorul parabolic al antenei sub forma unor semnale de putere foarte redusă, dar de frecvenţă ultra înaltă (aceeaşi cu cea de la emisie); antena transformă aceste radiounde în oscilaţii electrice, pe care le transmite receptorul.

Receptorul radarului este format de regulă dintr-un schimbător de frecvenţă (compus dintr-un etaj de amestec şi un oscilator local), un amplificator de frecvenţă intermediară, un detector şi un amplificator de videofrecvenţă. Oscilatorul local este realizat dintr-un clistron reflex. Circuitele oscilante sunt cu cavităţi rezonante. În cazul unor variaţii ale frecvenţei generate de magnetron sau de clistron, acordul în frecvenţă a acestor circuite se realizează automat.

Intensitatea ecourilor recepţionate poate să varieze foarte mult, funcţie de suprafaţa ţintei, unghiul de incidenţă al fasciculului, natura obiectului etc. Acest fapt poate produce dificultăţi însemnate în interpretarea imaginii redate de indicator; astfel, o navă aflată în apropiere ar putea produce un spot luminos foarte puternic, iar o geamandură de aterizare – la o distanţă ceva mai mare, ar fi reprezentată printr-o imagine cu greu observabilă. De aceea, ecourile se amplifică printr-un factor aproximativ egal cu 100, după care se trec printr-un *circuit de limitare;* acesta reduce semnalele la o valoare specifică ce nu depăşeşte de regulă 20 V. În urma acestei măsuri, ecourile sunt reprezentate pe indicator prin spoturi luminoase de intensităţi apropiate, facilitându-se astfel interpretarea imaginii.

Indicatorul are rolul de a prezenta vizual informaţiile cu privire la ţintele existente în zona acoperită de bătaia radarului şi de a face posibilă măsurarea relevmentului şi distanţei la ele. Acesta primeşte semnale de la receptor; de asemenea, el este conectat la un *generator de curent în dinţi de fierăstrău* şi este prevăzut cu un cuplaj electronic de sincronizare cu mişcarea antenei.

§3 Indicatorul panoramic

Radarul naval foloseşte *indicatorul panoramic*, numit şi *indicator cu explorare circulară*, care se realizează cu ajutorul unui tub catodic. Ecranul tubului permite vizualitatea urmei fasciculului electronic sub forma unui spot luminos. Sistemul de deflexie a fasciculului filiform de electroni se realizează prin efectul câmpului magnetic generat de două *bobine deflectoare*, montate în jurul gâtului, care sunt străbătute de un curent de deviere (fig. 30-4).

Atâta timp cât sistemul de deflexie nu este activ, deci bobinele nu sunt străbătute de un curent, fasciculul de electroni este focalizat spre centrul ecranului *C*, sub efectul anodului cilindric de focalizare *A* şi al bobinei de focalizare.

La trecerea unui curent prin bobinele deflectoare, se formează un câmp magnetic ce generează o forţă *F*, perpendiculară pe direcţia câmpului magnetic şi pe cea de mişcare a electronilor în tub. Forţa *F* cauzează devierea fluxului de electroni, care se comportă ca un curent electric; astfel, fasciculul electronic de pe ecran este deviat radial din *C* în *C′*, în sensul forţei *F*. Amplitudinea *CC′* a abaterii radiale este proporţională cu intensitatea câmpului magnetic *F*, respectiv cu intensitatea curentului electric de deviere ce străbate bobinele deflectoare.

Spirele bobinelor deflectoare ale tubului catodic sunt conectate la generatorul de curent în dinţi de fierăstrău (fig. 30-1). Pentru facilitarea înţelegerii fenomenului, considerăm iniţial că aceste bobine sunt fixe, iar antena radarului este menţinută într-o anumită direcţie.

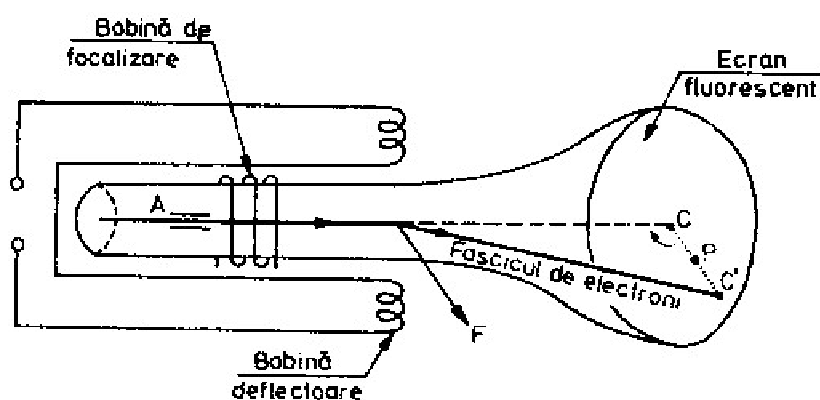


Fig. 30-4

În momentul emisiei impulsului, comandat de *oscilatorul pilot*, se declanşează curentul în dinţi de fierăstrău (fig. 30-5, momentul *a*), care constituie şi originea bazei de timp. Fasciculul electronic, focalizat iniţial în centrul ecranului (fig. 30-4, în punctul *C*, sub efectul acestui curent începe să se deplaseze radial spre marginea

ecranului până în momentul când curentul, după ce a atins intensitatea maximă, scade la zero (fig. 30-5, momentul *b*); ca urmare, fasciculul electronic ajuns în C' (fig. 30-4), revine brusc în centrul ecranului C.

Menținând acest sistem de alimentare a bobinelor deflectoare rezultă că, fasciculul electronic descrie constructiv desfășurarea CC', cu frecvența de repetiție a

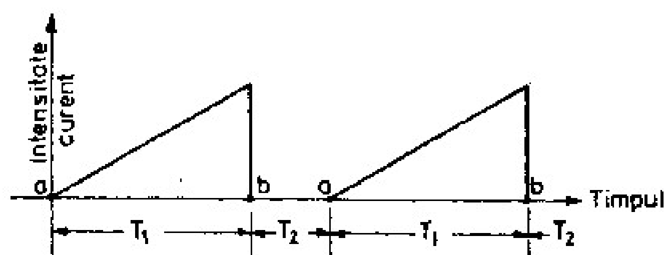


Fig. 30-5

impulsurilor. Tensiunea de polarizare dintre grilă și catod este astfel încât deplasarea radială a fasciculului electronic nu se observă pe ecran.

În aceste condiții, presupunem că la un moment dat, impulsul emis întâlnește o țintă pe direcția de propagare, capabilă să-l reflecte. Ecoul recepționat, transformat într-un impuls electric, modifică polarizarea grilei astfel că, fasciculul electronic generează un spot luminos P pe ecran; distanța PC, în centimetri, a spotului P față de centrul C al ecranului, se află în următoarea relație cu distanța d la țintă, în kilometri:

$$\frac{PC}{v} = \frac{2d}{c}$$

unde: v = viteza radială de deflexie a fasciculului electronic pe ecran; c= viteza de propagare a undei radar.

Un asemenea radar este capabil deci să detecteze doar țintele aflate pe direcția de orientare a antenei și să măsoare distanța la acestea.

Pentru a face posibilă explorarea pe întregul orizont, se menține alimentarea bobinelor deflectoare în modul arătat mai sus, dar acestea sunt rotite în jurul tubului catodic cu o mișcare de rotație sincronizată cu cea a antenei. Sincronizarea se realizează astfel: motorul electric de rotire a antenei este cuplat la un generator ; curentul generat de acesta acționează un motor sincron, cuplat la sistemul de rotire a bobinelor deflectoare în jurul tubului catodic.

În acest mod, *fasciculul electronic se deplasează radial pe ecranul tubului catodic cu frecvența de repetiție a impulsurilor de emisie* și simultan *îl baleiază circular cu o viteză de rotație sincronizată cu cea a antenei.*

În cazul existenței unor ținte în zona din jurul navei, acoperită de bătaia radarului, imaginea ecranului oferă o vedere panoramică, asemănătoare cu cea a unei hărți marine, redusă la o anumită scară. Astfel, pentru o navă aflată pe suprafața terestră în Z, văzută în planul diametral din pupa, având coasta la babord și o geamandură B în pupa tribord (fig. 30–6 *a*), imaginea *indicatorului panoramic (plan position indicator,* prescurtat *P.P.I.*) apare în modul arătat în fig. 30-6 *b*: nava care face explorarea radar în centrul C al ecranului; linia 0° – 180° este axa sa longitudinală, iar linia 90° - 270°, cea transversală; geamandura B apare ca un spot luminos pe direcția CT', care face cu *linia prova* un unghi egal cu relevmentul prova; segmentul CB', raportat la scara imaginii, dă posibilitatea determinării distanței la

geamandura *B*; în babord, multiplele spoturi luminoase generate de ecourile recepţionate de la coastă redau imaginea acesteia.

Perioada de baleiaj a ecranului de către fasciculul electronic, în modul arătat mai sus, este cuprinsă de regulă între 2 şi 6 secunde, funcţie de viteza de rotire a antenei. Pentru ca spotul generat de ecoul la ţintă să nu dispară după trecerea

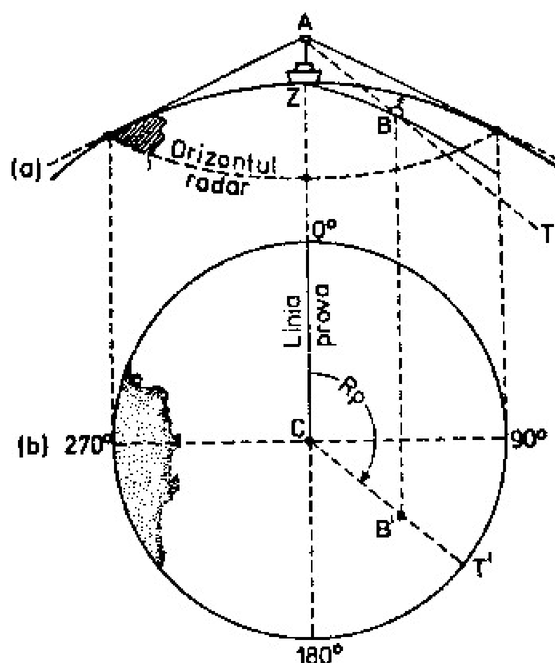


Fig. 30-6

fasciculului electronic, ecranul este făcut dintr-o substanţă cu remanenţă luminoasă; ca imaginea redată să fie continuă trebuie ca *persistenţa ecranului* să fie mai mare decât perioada de rotaţie a antenei.

Linia prova (heading line sau *heading marker)* este marcată pe ecran prin semnale luminoase care se repetă la fiecare rotaţie a antenei; acestea sunt produse prin închiderea unui contact al instalaţiei antenei, de fiecare dată când aceasta este orientată în $Rp = 0°$. Controlul orientării ei se face prin menţinerea navei cu prova pe un obiect (navă, geamandură), care generează un spot luminos distinct pe ecran: când $Rp = 0°$, măsurat vizual cu alidada, se verifică orientarea liniei prova în raport de cercul azimutal ce încadrează ecranul.

Luminozitatea excesivă a liniei prova creează pericolul ca aceasta să acopere spoturile unor eventuale ţinte aflate în planul longitudinal al navei; de aceea se recomandă reglarea iluminării ei la intensitatea minimă.

§4 Măsurarea distanţei şi relevmentului

1 Măsurarea distanţei

În perioada *T* a semnalului în dinţi de fierăstrău ce alimentează bobinele deflectoare (fig. 30-7 *a*), a cărui declanşare este sincronizată cu momentul impulsului de emisie, se generează o serie de impulsuri la intervale egale de către un *circuit de formare a diviziunilor de distanţă* (fig. 30-7 *c*), care sunt transmise la tubul catodic al indicatorului odată cu ecourile recepţionate.

Astfel, fig. 30-7 *c* reprezintă o serie de patru asemenea impulsuri, care în urma baleiajului radial al ecranului de către fasciculul electronic, produc spoturi luminoase ce formează trei cercuri concentrice echidistante, numite *cercuri de distanță (range rings* sau *calibration rings*, fig. 30-8); primul impuls din serie este concomitent cu

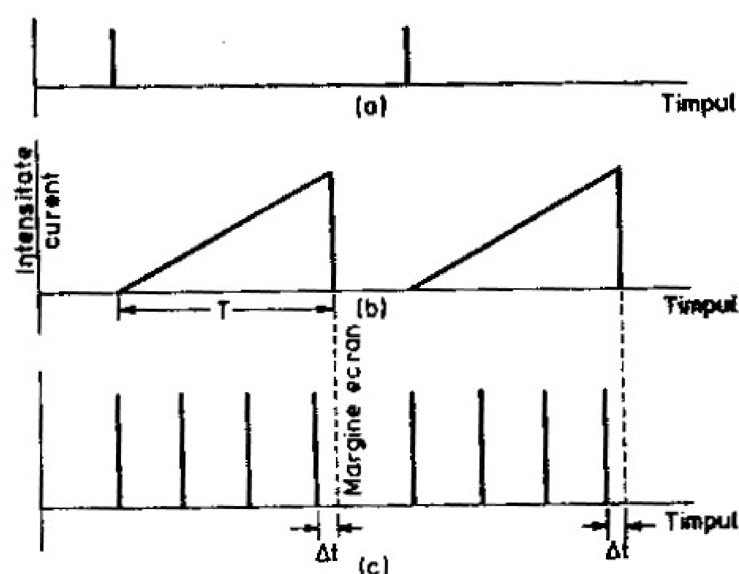


Fig. 30-7

momentul declanșării semnalului în dinți de fierăstrău, ce marchează centrul imaginii (nava proprie).

Numărul impulsurilor ce generează cercurile de distanță și intervalul de timp dintre ele depind de *scările de distanță* în care funcționează radarul; aceste scări

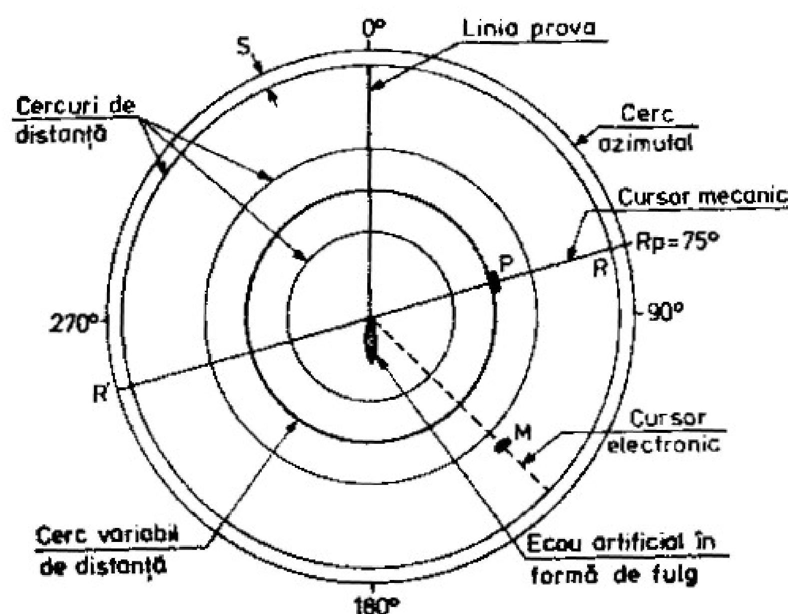


Fig. 30-8

diferă funcție de tipul instalației. Astfel, radarul DECCA–TM 626, instalat la o serie din navele noastre maritime, funcționează pe scările de distanță de 0.5, 0.75, 1.5, 3, 6, 12, 24, 48 Mm și șase – pentru celelalte. Intervalul, în mile marine, dintre două cercuri alăturate este egal cu raportul dintre scara de distanță și numărul corespun-

zător al cercurilor de distanţă. Fig. 30-8 reprezintă cele trei cercuri de distanţă la scara de 0.75 Mm, intervalul dintre ele fiind de 0.25 Mm.

Aceste cercuri permit estimarea distanţei la care se situează ecoul primit de la o ţintă faţă de centrul ecranului.

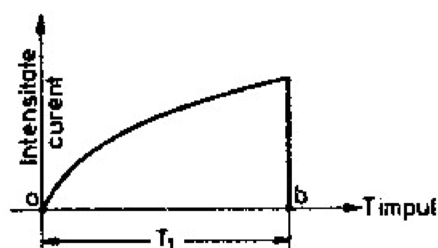


Fig. 30–9

Cercul exterior de distanţă este separat de circumferinţa ecranului cu un spaţiu $s = v.\Delta t$, unde:

– v = viteza radială de deflexie a fasciculului electronic pe ecran;

– Δt = intervalul de timp cu care ultimul impuls din serie anticipează terminarea perioadei T a semnalului în dinţi de fierăstrău (fig. 30–7 *c*).

Pe lângă utilizarea arătată, cercurile de distanţă îndeplinesc şi o altă funcţie importantă: controlul linearităţii curentului în dinţi de fierăstrău. În mod normal, creşterea acestui curent trebuie să fie lineară, proporţională cu timpul (fig. 30–7 *b*). În cazul în care creşterea curentului în dinţi de fierăstrău nu este lineară (fig. 30–9), viteza radială v de deflexie a fasciculului de electroni devine neuniformă, fapt ce determină deformarea imaginii redate pe ecran, *indicată prin inegalitatea spaţiilor ce separă cercurile de distanţă.*

Linearitatea se reglează prin intermediul unor potenţiometre (rezistenţe variabile).

Măsurarea precisă a distanţei la o ţintă se realizează cu *cercul variabil de distanţă (variable range marker), produs pe ecran prin alimentarea tubului catodic cu un impuls ce se declanşează la un interval de timp reglabil în raport cu momentul emisiei.* Operatorul variază raza cercului până când acesta tangentează spotul luminos de pe ecran (fig. 30-8), prin mărirea sau reducerea corespunzătoare a intervalului de timp de declanşare a impulsului de formare a cercului variabil de distanţă, în raport cu momentul emisiei.

Impulsul de formare este produs de un generator conectat la oscilatorul pilot, de la care primeşte informaţia asupra momentului emisiei. Retardaţia declanşării impulsului de formare în raport cu acest moment este acţionată de către operator, prin reglarea razei cercului variabil de distanţă. Pe timpul reglării, impulsul produce pe ecran o dâră luminoasă neregulată.

După realizarea tangentării la punctul interior al spotului ce reprezintă ţinta, se citeşte distanţa la precizie de 0.01 Mm, pe *indicatorul de distanţă (variable range counter).* La tipurile vechi de radar, acest indicator este realizat printr-un contoar mecanic; la cele moderne, printr-un indicator numeric.

2 Măsurarea relevmentului

Indicatoarele radar sunt prevăzute cu două dispozitive pentru măsurarea relevmentului, numite *cursoare de relevment:* mecanic şi electronic.

Cursorul mecanic (mechanical cursor) constă dintr-un disc transparent pe care este gravată linia diametrală *RR'* (fig. 30–8), precum și o serie de linii paralele echidistante. Operatorul rotește cursorul mecanic până când linia diametrală ajunge în coincidență cu spotul *P* produs de țintă, după care se procedează la citirea relevmentului prova pe cercul azimutal exterior ecranului, gradat de la 0° la 360°.

Citirea corectă a relevmentului este condiționată de existența coincidenței centrului de rotire a cursorului mecanic cu cel al imaginii de pe ecran; în caz contrar, eroarea în relevment variază invers cu distanța la țintă.

Cursorul electronic (electronic cursor) apare pe ecran ca o linie radială luminoasă, de orientare reglabilă; aceasta se obține prin anularea suprimării desfășurării radiale a fasciculului de electroni într-o anumită direcție. Iluminarea se produce la fiecare rotire a antenei. Citirea relevmentului se face la un indicator numeric. În scopul evitării confundării cu linia prova, de regulă, cursorul electronic apare pe ecran ca o linie radială întreruptă.

§5 Suprimarea ecourilor parazite

Când se navigă pe mare agitată, ecourile produse de valuri apar pe ecran sub forma unor pete de intensități luminoase diferite, ce apar și dispar într-o succesiune neregulată, numite *ecouri parazite (sea-clutter* sau *sea-echoes)*. Intensitatea acestora este inversă cu distanța, ca urmare a faptului că unghiul de incidență al lobului de radiație cu panta valului descrește cu aceasta. Ele apar până la distanța de 3–4 Mm de navă, cu o intensitate descrescândă. Desigur, numărul ecourilor parazite și intensitatea lor luminoasă variază considerabil și funcție de starea mării. La distanțe mici, ele sunt uneori atât de dense și atât de intense că ecranul devine saturat într-o astfel de măsură, încât spoturile produse de ținte apropiate, ca geamanduri, ambarcații etc., nu mai pot fi distinse. Efectul lor perturbator se manifestă deci îndeosebi asupra țintelor apropiate, care prezintă cel mai mare interes în navigație.

La § 2 s-a arătat că înainte ca ecourile să fie transmise la tubul catodic, ele sunt trecute printr-un circuit de limitare, care le reduce la același nivel, nedepășind de regulă 20 V. Este evident că efectul acestuia este nefavorabil în condițiile existenței ecourilor parazite; astfel, dacă într-o zonă restrânsă, deși ecoul unei geamanduri – de exemplu, este mai intens decât al valurilor din jur, spoturile lor apar pe ecran la fel de intense, ca urmare a efectului circuitului de limitare.

Suprimarea ecourilor se realizează prin reducerea automată a amplificării recepției după emiterea impulsului, total sau parțial, funcție de intensitatea acestora și apoi, amplificarea treptată până la atingerea nivelului normal (fig. 30-10). Prin aceasta, ecourile formate în apropierea navei sunt mai puțin amplificate, sub valoarea de 20 V a circuitului de limitare. Ecourile mai intense însă, produse de țintele apropiate cu caracteristici de reflexie superioare (cum sunt în general obiectele, în comparație cu valurile) sunt amplificate la o tensiune mai ridicată, fără a depăși însă pe cea limită (de 20 V). În acest mod se realizează un contrast suficient pentru a face posibilă identificarea spotului unei ținte față de ecourile parazite din jur; acestea se

văd pe ecran ca puncte de intensităţi luminoase reduse şi variabile, ce apar şi dispar, pe când spotul unei ţinte apare cu o iluminaţie constantă, într-o anumită poziţie în raport cu nava.

Atât reducerea amplificării, în momentul emisiei, cât şi creşterea ei treptată după aceea, se efectuează automat. Cele mai multe radaruri oferă posibilitatea doar a

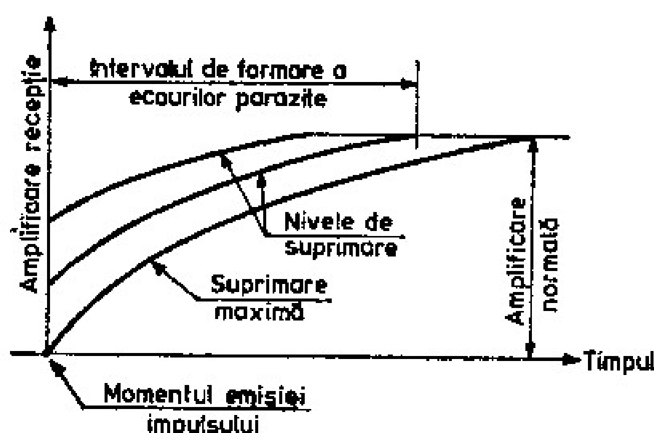


Fig. 30-10

reglării nivelului suprimării, prin acţionarea unei comenzi de *suprimare a ecourilor parazite (sea-echo supresion* sau *anti-sea clutter,* vezi fig. 30-10).

Ploaia şi ninsoarea produc un fenomen asemănător; în zonele de ploaie sau ninsoare abundentă, ecourile parazite generate formează pe ecran arii de iluminaţie excesivă, care fac ca spotul unei ţinte să fie distins cu dificultate.

Metoda eliminării efectului acestor fenomene se bazează pe faptul că în zona de ploaie sau ninsoare de o anumită abundenţă, împrăştierea picăturilor de apă sau a fulgilor de zăpadă este aproximativ uniformă, fiecare în parte generând ecouri parazite de intensităţi reduse şi apropiate, pe când spotul produs de o ţintă este mai intens, datorită unor proprietăţi reflexive superioare ale acesteia. *Circuitul de diferenţiere* conţinut de receptor, reacţionează la recepţia oricărui semnal de intensitate mai mare, pe care îl amplifică, făcând astfel posibilă identificarea cu uşurinţă a spotului produs. Acest circuit este acţionat printr-un comutator de *suprimare a ecourilor parazite de ploaie / ninsoare (anti-clutter rain / snow),* în două poziţii: *în circuit* (om) sau *întrerupt (off).*

În zonele de ploaie sau ninsoare abundentă şi îndeosebi în cele cu furtuni de nisip (frecvente în apropierea marilor deşerturi, în Marea Roşie, Golful Persic etc.), energia radiată de antenă este parţial absorbită, astfel că bătaia radarului este apreciabil redusă. Datorită acestui fenomen, în spatele unor asemenea zone, pe ecran apare o arie de luminiscenţă mai redusă (un gen de umbră), mai mult sau mai puţin accentuată. Asemenea situaţii trebuie să impună atenţie deosebită, deoarece detectarea ţintelor cu proprietăţi reflexive reduse (geamanduri, coastă joasă de nisip etc.) poate deveni incertă. O amplificare mai accentuată a recepţiei în asemenea cazuri poate avea un efect pozitiv.

§6 Dispozitivul de control al performanţelor emisiei şi recepţiei

La instalaţia de antenă este fixată o *cavitate rezonantă* (*echo box*, fig. 30-3); ea constă dintr-o cutie de rezonanţă, prevăzută cu o deschizătură. De fiecare dată când antena radiază un impuls pe direcţia cavităţii rezonante, o parte din energia electromagnetică pătrunde prin deschizătură. Dimensiunile cutiei sunt astfel alese încât aceasta intră în rezonanţă electrică cu frecvenţa radar.

Oscilaţiile electromagnetice induse în cavitatea rezonantă de semnalul radar se amortizează treptat, fiind radiate prin deschizătură – înapoi la antenă. Acestea generează apariţia pe ecran a unui *ecou artificial în formă de fulg* (fig. 30–8) Lungimea acestuia constituie un indiciu al performanţelor emisiei şi recepţiei, pe următoarea bază: perioada de amortizare a oscilaţiilor creşte cu puterea la emisie a impulsului, funcţie de care variază lungimea ecoului artificial; de asemenea, lungimea acestuia creşte cu cât frecvenţa intermediară din etajul de amestec este mai apropiată de cea a receptorului.

După reglarea emisiei şi a recepţiei de către operator, ecoul artificial în formă de fulg trebuie să aibă o anumită lungime minimă (indicată în documentaţia instalaţiei). În cazul unor performanţe reduse ori defecţiuni de emisie sau recepţie (scăderea puterii de emisie, reglarea incorectă a frecvenţei clistronului, corpuri străine în ghidul de undă etc.), lungimea ecoului artificial se reduce sau acesta dispare complet. Cavitatea rezonantă poate fi utilizată deci ca *dispozitiv de control al performanţelor emisiei şi recepţiei (performance monitor).*

Când situaţia de navigaţie permite, se recomandă folosirea pentru scurt timp a acestui dispozitiv de control; în caz de imposibilitate, pentru un observator cu experienţă, aspectul ecourilor parazite generate de valuri poate constitui un indiciu al performanţelor emisiei şi recepţiei.

La unele instalaţii, *controlul emisiei (Tx monitor)* şi *controlul recepţiei (Rx monitor)* se efectuează separat.

§7 Propagarea fasciculului radar

În navigaţia maritimă, radarul se foloseşte pentru detectarea ţintelor de la suprafaţa mării, precum şi la măsurarea relevmentului şi a distanţei la ele. În vederea realizării acestor obiective, în condiţiile de la bordul navei, se impune ca fasciculul de radiaţie să posede următoarele proprietăţi:

– să aibă o bătaie suficientă pentru a acoperi distanţa de explorare în scopul detectării ţintelor, funcţie de situaţia de navigaţie (aterizarea la coastă, evitarea abordajelor pe timp cu viziabilitate redusă etc.);

– *deschiderea fasciculului* (unghiul de fascicule) în plan orizontal să fie cât mai mică, în vederea asigurării unei precizii cât mai mari în măsurarea relevmentului;

– realizarea unei deschideri suficiente a fasciculului în plan vertical, astfel ca să se asigure explorarea la suprafaţa mării în condiţii de ruliu şi tangaj a navei. Satisfacerea acestei cerinţe impune ca dechiderea în plan vertical a fasciculului să fie mai mare decât unghiul de înclinare a navei cauzat de balans.

Radiația energiei electromagnetice în forma unui fascicul de anumite caracteristici se obține prin plasarea antenei de emisie *A* în focarul unui reflector parabolic *RR′*, ce reprezintă o secțiune dintr-un paraboloid (fig. 30-11). Acesta transformă propagarea sferică a undei într-un sistem direcțional de emisie; sistemul este completat cu un reflector auxiliar *rr′*, care proiectează unda din deschiderea

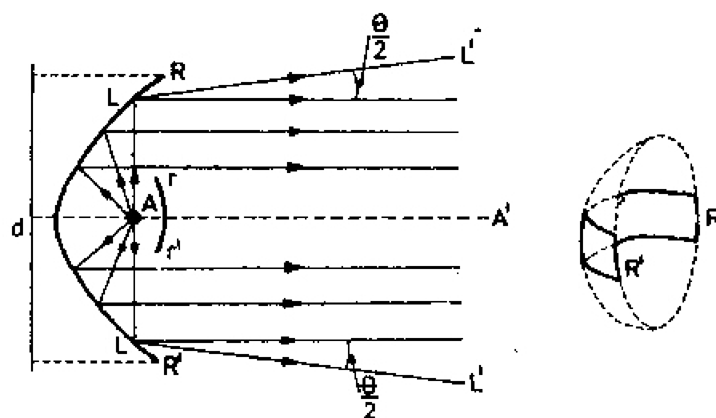


Fig. 30-10

RAR′ a reflectorului parabolic pe suprafața acestuia. Undele exterioare *LL′* formează cu direcția *AA′* a sistemului antenei un unghi egal cu jumătatea deschiderii θ a fasciculului.

Caracteristica de directivitate a fasciculului radar se determină prin măsurarea puterii câmpului radiat în plan orizontal și vertical. Astfel, dacă se procedează la o asemenea măsurătoare în plan orizontal, exprimând câmpul radiat prin puterea sa aparentă, în procente din puterea maximă, se obține caracteristica de directivitate orizontală, care în coordonate polare este de forma redată în figura 30-12. Orientarea *OA* a reflectorului antenei din momentul emisiei reprezintă direcția de putere maximă a câmpului, ce constiuie *lobul principal* de radiație; el este delimitat de totalitatea punctelor de putere minină a câmpului. Câmpurile secundare laterale de radiație, de puteri considerabil mai reduse, formează *lobii laterali;* numărul lor este diferit, funcție de directivitatea antenei și constituie energia electromagnetică pierdută la emise.

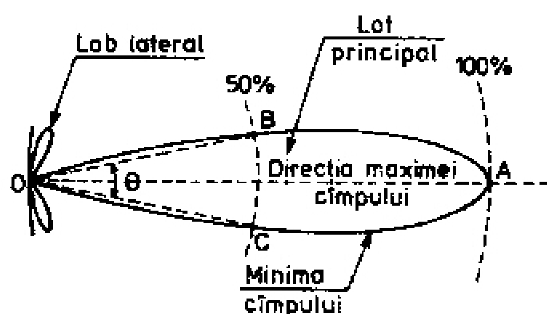


Fig. 30-12

Deschiderea orizontală a lobului principal, numită *lățimea fasciculului radar,* este reprezentată de unghiul *BOC* – cu vârful în centrul reflectorului parabolic, având ca laturi direcțiile la punctele *B* și *C* de putere aparentă egală cu 50% din cea maximă *OA*.

La radarurile navale, deschiderea orizontală a fasciculului θ este cuprinsă între 0°.6 şi 2°, fiind funcţie de raportul dintre lungimea de undă λ şi lăţimea d a reflectoarului parabolic al antenei:

$$\sin \theta = k \frac{\lambda}{d},$$

unde k reprezintă constanta dielectrică a straturilor inferioare ale atmosferei. Deschiderea orizontală a fasciculului condiţionează puterea de separare unghiulară a radarului, deci precizia în măsurarea relevmentului (vezi § 9).

Creşterea lăţimii reflectorului, în scopul reducerii deschiderii orizontale a fasciculului şi eliminării lobilor laterali, este limitată de considerente de ordin practic, căci un reflector cu o lăţime exagerată ar crea dificultăţi de natură mecanică în realizarea sistemului de rotire a antenei, în condiţiile de la bordul navei.

La instalaţiile radar moderne, puterea unui lob lateral reprezintă aproximativ 1/4% din cea a lobului principal. Pe lângă faptul că lobii laterali constituie partea de energie pierdută la emisie, în anumite condiţii, ei sunt capabili să genereze *ecouri false*, ce îngreunează interpretarea imaginii obţinute pe ecran. Astfel, de exemplu, considerăm că antena este orientată pe direcţia *OA* şi o ţintă *T* cu bune calităţi reflexive, la mică distanţă, apare pe direcţia *OB* a lobului lateral L_l (fig. 30-13 *a*); în aceste condiţii se poate forma un ecou fals suficient de puternic pentru a produce un spot T_1 pe ecran în direcţia lobului principal *OA* (fig. 30-13 *b*). Când antena, în timpul rotaţiei, ajunge pe direcţia *OB* a ţintei, lobul principal generează spotul real T_2; ulterior, la orientara *OC* a antenei, când ţinta *T* intră în bătaia lobului lateral L_2, se produce ecoul fals T_3. Rezultă că cei doi lobi laterali produc două ecouri false T_1 şi T_3, simetrice în raport cu cel real T_2.

În realitate însă sunt mulţi lobi laterali, ce produc pe ecran o serie de ecouri false, sub forma unui arc de cerc constituit din pete luminoase de intensităţi diferite; între acestea, spotul de lobul principal poate fi identificat după intensitatea luminoasă, care este evident mai mare.

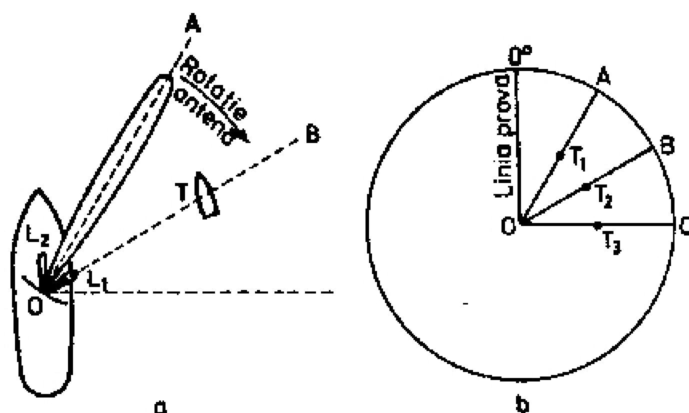


Fig. 30-13

În general, ecourile false se produc îndeosebi de ţintele apropiate, cu bune calităţi reflexive. Uneori, acestea pot fi eliminate prin acţionarea corespunzătoare a butonului de reglare a suprimării ecourilor parazite (vezi §5).

Deschiderea fasciculului în plan vertical, numită şi *înălţimea fasciculului radar*, ia valori cuprinse între 15° şi 30°. Examinarea fasciculului radar în plan

vertical arată că acesta este constituit dintr-o serie de lobi, în forma prezentată în fig. 30-14; astfel, la lungimea de undă de 3 cm, fasciculul emis poate să conțină până la 500 lobi de radiație în plan vertical.

Formarea lobilor în plan vertical este cauzată de reflexia energiei radiate de către suprafața mării (fig. 30-15). Într-un punct B al planului vertical al fasciculului

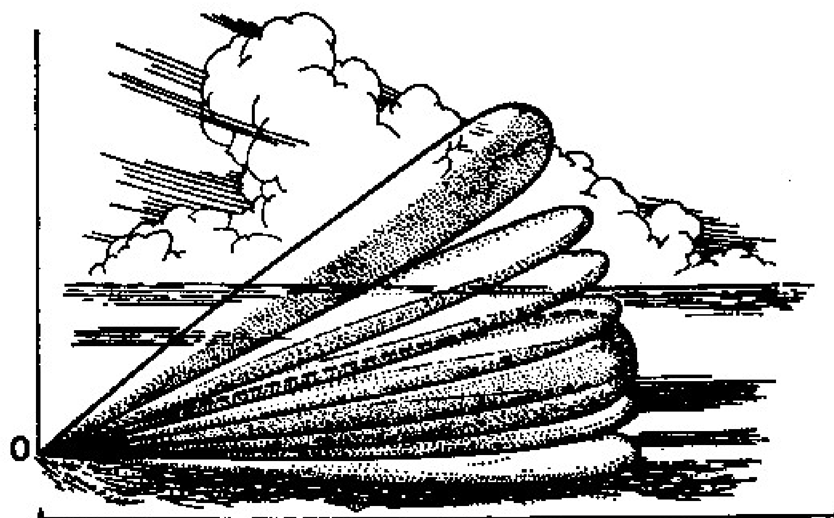


Fig. 30-14

unda directă *AB* poate fi întâlnită de unda reflectată *ACB*, fie în fază, în opoziție de fază sau cu un defazaj oarecare.

Considerând că suprafața mării este plană, în punctul de reflexie C al undei se produce o schimbare de fază de 180°; admițând că diferența traiectoriilor *ACB* – *AB* a celor două unde, directă și reflectată, este $\frac{\lambda}{2}$ = 180°, rezultă că diferența de fază în *B* este zero. Undele sunt deci în fază, iar câmpurile lor se însumează, creînd un câmp rezultant maxim. Presupunând că *B'* are o poziție astfel încât diferența traiectoriilor celor două unde este egală cu o lungime de undă, diferența de fază în acest punct este 360° – 180° = 180°; câmpurile celor două unde se anulează deci, fiind în opoziție de fază.

În condițiile admise mai sus – reflexie perfectă, absorbție nulă și coeficientul de reflexie 100% rezultă că în planul vertical de emisie se obțin caracteristici de directivitate de forma unor lobi suprapuși, corespunzători alternanței câmpurilor maxime *AB*, *AB'* etc.

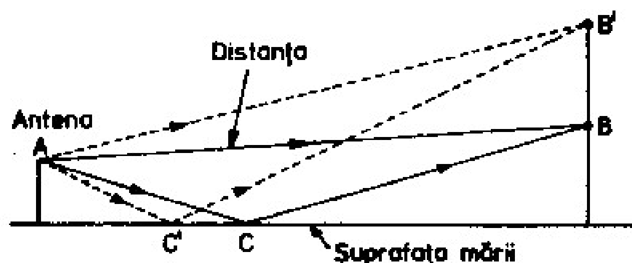


Fig. 30-15

În navigația maritimă, prezintă interes practic doar lobul inferior, care generează ecourile țintelor de la suprafața mării.

Lobii nu se deplasează în plan vertical odată cu ruliul şi tangajul navei, ci îşi menţin poziţia faţă de suprafaţa mării. Explicaţia fenomenului este dată de faptul că balansul navei nu modifică elementul ce generează lobii şi anume – diferenţa traiectoriilor undei reflectate şi a celei directe faţă de punctul considerat.

În condiţii normale, diferite de cele considerate mai sus, pe mare cu valuri – când reflexia este difuză şi coeficientul de reflexie diferit de 100%, precum şi de existenţă a absorbţiei, intervin desigur o serie de modificări în repartiţia intensităţii câmpului în planul vertical al fasciculului.

§8 Formarea ecourilor. Proprietăţile reflexive ale „ţintelor". Reflectoare şi balize radar. Interpretarea imaginii

Ecoul primit de la o ţintă întâlnită pe direcţia de propagare a fasciculului radar este constituit dintr-o fracţiune din energia radiată, care defineşte ***intensitatea ecoului,*** noţiune interpretată în „limbajul radar" într-un dublu sens: cantitatea de energie electromagnetică reflectată de ţintă pe direcţia antenei şi captată de aceasta; intensitatea spotului luminos produs pe ecran. Intensitatea ecoului este funcţie de *calitatea reflexivă* a ţintei, determinată de o serie de factori, între care principalii sunt: materialul, forma, unghiul de incidenţă şi mărimea ţintei. Reflexia undei radar urmează, în general, legile reflexiei undelor luminoase, cu anumite abateri cauzate îndeosebi de diferenţa lungimii de undă: astfel, deoarece lungimea undei radar este aproximativ de 50000 de ori mai mare decât a celei luminoase, un perete, de exemplu, produce o reflexie difuză pentru unda de lumină şi se comportă ca o oglindă pentru unda radar. Reflexia undei este însoţită de o anumită absorbţie de energie.

1 Influenţa materialului

Experimentările efectuate au demonstrat că natura materialului din care este constituită ţinta influenţează intensitatea ecoului. Astfel, metalul şi apa sunt reflectoare mai bune decât lemnul, piatra, nisipul şi, în general, decât solul, iar apa are proprietăţi reflectante mai bune decât gheaţa. Aceste experimentări au arătat însă în mod evident că influenţa materialului este considerabil mai redusă decât a celorlalţi factori, cum sunt forma şi mărimea ţintei.

2 Influenţa formei ţintei

Forma ţintei reprezintă o importanţă deosebită pentru intensitatea ecoului. Astfel, o suprafaţă plană, cum ar fi un perete, aşa cum s-a arătat, se comportă pentru unda radar ca o oglindă. Dacă suprafaţa este normală la direcţia de propagare, intensitatea ecoului este maximă; când unghiul de incidenţă este diferit de 90°, unda reflectată nu poate fi captată de antenă (fig. 30-16).

Două plane verticale perpendiculare, în anumite condiţii, pot prezenta proprietăţi reflexive foarte favorabile (fig. 30-17); dacă unda incidentă este în plan

orizontal, indiferent de unghiul de incidență, unda reflectată are o direcție paralelă și de sens opus cu prima.

Proprietățile reflexive cele mai favorabile sunt prezentate de trei plane reciproc perpendiculare, în forma unui triedru dreptunghic; unda reflectată este de aceeași direcție cu cea incidentă și de sens opus. Aceste forme se utilizează la realizarea

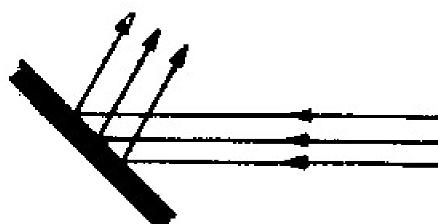


Fig. 30-16

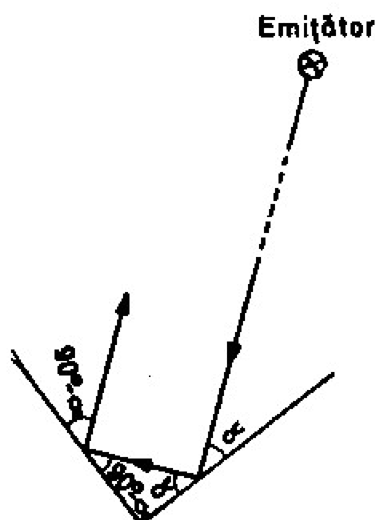


Fig. 30-17

reflectoarelor radar (v. punctul 5), care se fixează pe țintele cu proprietăți reflexive limitate ce prezintă interes în navigație, cum sunt geamandurile de aterizare etc.

O *suprafață sferică* produce o reflexie difuză, unda incidentă fiind împrăștiată uniform în toate direcțiile (fig. 30-18).

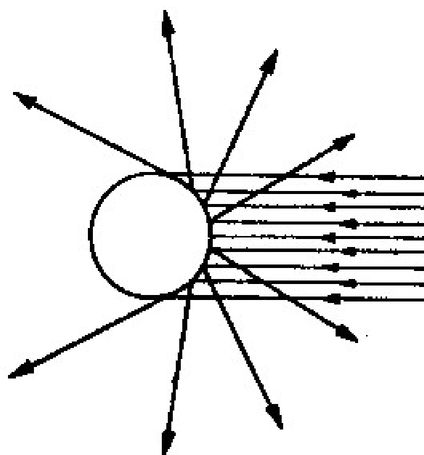


Fig. 30-18

Un *cilindru* combină proprietățile reflexive ale sferei cu cele ale unui plan funcție de unghiul format de undă cu axa cilindrului. Dacă acest unghi este de 90°, proprietățile reflexive sunt apropiate de cele ale sferei și, respectiv, identice cu cele ale planului, când unghiul este 0°.

Ecourile produse de un om sunt, în general, foarte slabe; considerând că axa conului este verticală, cum este cazul țintelor de o asemenea formă (geamanduri etc.), unda reflectată se îndepărtează de planul orizontal al punctului de incidență.

3 Mărimea țintei

Mărimea țintei influențează intensitatea ecoului doar în limitele suprafeței fasciculului radar din secțiunea planului de incidență cu ținta. Un asemenea caz este prezentat, de exemplu, la incidența fasciculului cu o coastă abruptă; intensitatrea ecoului este determinată doar de suprafața coastei acoperită de lățimea fasciculului. Desigur, acest aspect interesează numai în cazul unor ținte cu o suprafață mare.

Multe din țintele de mare interes în navigație, cum sunt navele, geamandurile etc., au o mărime astfel că sunt acoperite complet de lobul principal inferior de radiație. În aceste cazuri, influențează doar *aria efectivă* de reflexie a țintei, reprezentată de proiecția țintei pe planul normal la direcția de propagare.

La aceeași arie efectivă, intensitatea relativă a ecoului este determinată de forma țintei; tabelul 30-1 prezintă un asemenea exemplu comparativ.

Tabelul 30-1

Forma țintei	Poziția	Intensitatea relativă a ecoului
Sferă	–	1
Plan	Normal pe direcția de propagare	1 200
Cilindru	Axa perpendiculară pe direcția de propagare	300
Reflector radar	–	1 200

4 Câteva exemple de ținte

Navele produc, în general, ecouri puternice. Intensitatea ecourilor variază în principal funcție de: mărimea navei deasupra liniei de plutire (dependentă de tonaj și starea de încărcare); unghiul de înclinare (format între direcția undei incidente și axa longitudinală a navei), favorabil la valori de 90 ° sau apropiate (ținta văzută în planul ei transversal sau în apropiere), precum și de 0° sau 180° (ținta văzută din prova sau pupa); forma suprastructurilor. Catargele și greementul au o influență neînsemnată.

Ambarcațiile de pescuit și barjele încărcate, care de regulă sunt lipsite de suprastructuri însemnate, produc ecouri de o intensitate redusă.

Geamandurile formează obișnuit ecouri slabe, datorită înălțimii mici deasupra nivelului apei, mărimii reduse și formelor nefavorabile. Ecourile cele mai slabe sunt produse de geamandurile conice. Pentru a înlătura acest neajuns, geamandurile de aterizare, de marcare a paselor etc., sunt prevăzute cu reflectoare radar.

Coasta produce ecouri de intensități foarte diferite, funcție de natură, unghi de pantă, formă etc. Coastele joase cu pantă lină și întinsurile de nisip formează ecouri foarte slabe; de aceea, în cele mai dese cazuri, ele sunt detectabile numai la distanțe mici. Dimpotrivă, coastele abrupte și capturile proeminente produc ecouri puternice.

Ecourile produse de *coline* şi *vârfuri de munte* diferă îndeosebi funcţie de înălţime, unghiul de pantă şi aspectul suprafeţei lor.

Gheaţa (sub formă de gheţari, gheaţă compactă la suprafaţa mării şi de-a lungul coastei sau sloiuri în derivă) produce ecouri foarte slabe. Experimentările efectuate au condus la concluzia că *detectarea unui gheţar nu este întotdeauna certă.* Ecoul unui gheţar este de aproximativ 60 de ori mai slab decât al unei nave de dimensiuni comparabile. Apa de mare este un reflector mai bun decât gheaţa, de aceea ecoul unui gheţar se distinge greu pe ecran în aria ecourilor parazite produse de valuri; în interpretarea imaginii radarului, în acest caz, unicul indiciu pentru identificarea gheţarului este constituit de faptul că ecoul slab al acestuia este de poziţie constantă pe ecran, pe când cele produse de valuri, deşi uneori destul de compacte, apar şi dispar într-o succesiune neregulată. Totuşi, chiar în cazul unor gheţari mari, în condiţii de mare agitată, ecoul unui gheţar poate rămâne neobservat. Distanţa maximă la care se poate detecta un gheţar este de aproximativ 4 Mm. Cele arătate conduc la importanta concluzie că, *radarul nu poate substitui precauţiile obişnuite pentru siguranţa navigaţiei în zona cu gheţari* (veghe atentă, reducerea vitezei în condiţii de vizibilitate limitată etc.).

Gheaţa compactă cu suprafaţă plană nu produce ecouri. Când suprafaţa gheţii este neregulată, cum apare în cazul celei compacte constituită prin îngheţarea unor sloiuri de forme diferite, se obţin ecouri ce fac posibilă identificarea la distanţe de 2–3 Mm.

Sloiurile de gheaţă în derivă la suprafaţa mării, deşi produc ecouri slabe, pot fi detectate la mici distanţe, prin faptul că produc pe ecran spoturi cu poziţii constante.

Gheaţa compactă de la suprafaţa apei aflată de-a lungul litoralului sau cea care se extinde pe plajă, poate modifica considerabil conturul coastei, creînd dificultăţi în interpretarea imaginii radar.

5 Reflectoare şi balize radar

Reflectorul radar (radar reflector) cónstă de regulă dintr-o configuraţie de triedre dreptunghice; figura 30-19 redă două tipuri de asemenea reflectoare.

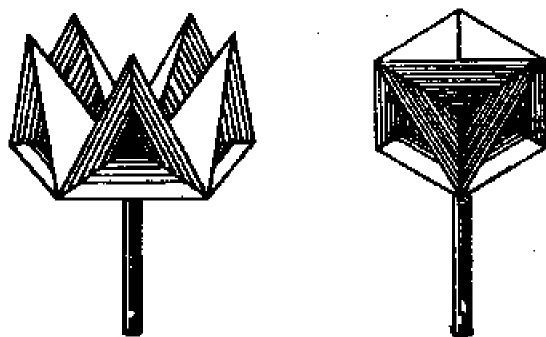


Fig. 30-19

Acestea se instalează în partea superioară a unor ţinte, cu proprietăţi reflexive reduse, ce prezintă interes în navigaţie: geamanduri, faruri, capete de diguri; de asemenea, experienţa arată utilitatea montării lor pe ambarcaţiile de pescuit construite din lemn, precum şi pe bărcile de salvare.

Reflectorul radar facilitează considerabil detectarea țintelor pe care acestea sunt instalate. Astfel, o geamandură detectabilă la distanța de 1–2 Mm, prin dotarea ei cu un asemenea reflector poate asigura un ecou satisfăcător la 8 Mm. Reperele prevăzute cu reflector radar sunt indicate pe hartă cu notația *Ra.Relf. (radar reflector).*

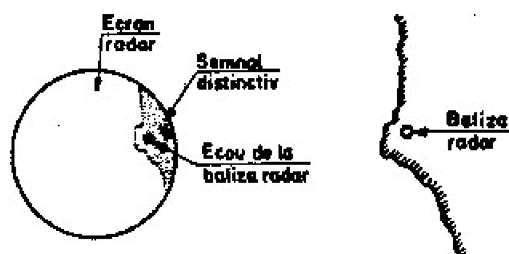


Fig. 30-20

Dispozitivele de reflexie descrise mai sunt denumite și *reflectoare pasive,* spre a le distinge de *reflectoarele active,* constituite de *balizele radar* (*racon,* denumire obținută din prima și respectiv ultima silabă a cuvintelor *radar beacon*). Ele constau din mici emițătoare de impulsuri în banda de frecvențe radar, care devin active sub efectul unui fascicul incident, provenit de la instalația radar a unei nave. Impulsul emis de baliza radar în toate direcțiile și recepționat la bord are o putere considerabil mai mare decât ecoul produs de orice gen de țintă, astfel că recepția lui la bord generează pe ecran un spot foarte ușor de identificat pe fondul imaginii formate pe obiectele din zonă.

Balizele radar se instalează de regulă pe farurile maritime importante ale zonei sau în alte puncte de la coastă, ce constituie repere foarte utile pentru determinarea poziției navei în condiții de vizibilitate redusă. În scopul de a se facilita identificarea, unele balize transmit după activare și un semnal distinctiv de recunoaștere (de exemplu, două linii), care apar pe ecran alături de spotul produs de impuls (fig. 30-20).

Deoarece frecvențele utilizate la instalațiile radar sunt diferite, în limitele benzii atribuite, la majoritatea balizelor radar frecvența undei emise variază treptat între aceste limite, într-o perioadă constantă de 75 de secunde. În cazul recepției unor asemenea semnale, spotul respectiv se obține pe ecran la aceste intervale.

6 Sectorul orb al radarului

Dacă antena nu este instalată la o înălțime superioară față de coș sau de alte părți ale navei, acestea interceptează atât impulsul emis cât și ecoul, creînd pe direcția lor un așa-numit *„sector orb“,* care în funcție de mărime – poate să rămână complet neexplorat sau distanța de detectare a țintelor să fie redusă apreciabil. Astfel, sectorul orb produs de coșul navei poate lua valori de la 10° până la 35°, care obișnuit se află spre pupa. Fenomenul poate fi constatat în aria centrală a ecranului acoperită de ecourile parazite produse de valuri, sub forma unui sector umbrit sau în cazul obținerii imaginii coastei, prin întreruperea acesteia în limitele sectorului orb.

De asemenea, la scările de distanțe mici, de regulă până la 6 Mm, catargul prova poate provoca un sector orb de 1° până la 6°. La scări superioare, obişnuit are loc o atenuare a ecoului, astfel că distanța de detectare a țintelor se poate reduce la jumătate sau chiar până la o treime. Existența unui asemenea sector nu poate fi sesizată în şantier la instalarea radarului la navă, deoarece imaginea obținută pe ecran în asemenea condiții este confuză, datorită efectului obstacolelor din jur (macarale, alte nave în construcție etc.). De aceea, pe timpul probelor de mare, eventualele sectoare oarbe trebuie studiate şi determinate cu atenție; în cazul unor rezultate satisfăcătoare, se procedează la reinstalarea antenei.

În situația existenței unui sector orb spre prova, cauzat de catarg, pe timpul navigației în condiții de vizibilitate redusă, se impune executarea la anumite intervale de timp a unor abateri de la drum, de un unghi cel puțin egal cu mărimea acestuia, alternativ în borduri, în scopul unei explorări complete.

7 Interpretarea imaginii

După efectuarea reglării, urmând indicațiile conținute în documentația tehnică a instalației de la bord, imaginea radar privită de un observator cu experiență este plină de conținut în informații prețioase de navigație.

În centrul ecranului apare constant un spot ce reprezintă nava proprie, înconjurat de semnale luminoase instabile provocate de ecourile parazite ale valurilor; acestea se estompează treptat şi, împrejur, suprafața mării este prezentată de un fond întunecos, față de care apar în contrast spoturile luminoase ale diferitelor ținte: nave, geamanduri, coastă etc.

Indicațiile date mai sus privind formarea şi aspectul ecourilor pe ecran prezintă practic doar o valoare orientativă. Studiul documentației radar de la bord, care conține de regulă fotografii ale unor imagini tip, cu comentarii utile privind interpretarea lor, constituie o treaptă necesară pentru începător.

Experiența arată că cea mai bună metodă pentru formarea de deprinderi în interpretarea imaginii radar o constituie exercițiul zilei, în condiții de vizibilitate bună. După punerea instalației în funcție şi reglarea ei, se studiază imaginea radar şi apoi se procedează la confruntarea elementelor conținute prin observarea vizuală a situației de navigație din jurul navei. Pentru o documentare completă, se recomandă executarea unor asemenea exerciții în situații de navigație cât mai variate: coasta de forme diferite, nave la distanțe şi de mărimi diferite, de mare agitată etc.

§9 Performanțele de exploatare a radarului

Performanțele principale de exploatare a radarului naval sunt: bătaia, distanța minimă, puterea de separare radială, puterea de separare unghiulară, precizia măsurii relevmentului şi distanței.

1 Bătaia radarului (range)

Bătaia radarului este distanța maximă la care pate fi detectată o țintă. Ea este funcție de o serie de factori, între care, îndeosebi cei atmosferici nu pot fi determinați cu rigurozitate.

De aceea, se folosește așa-numita *bătaie teoretică* d_{max}, ce se determină pe baza unor ipoteze simplificatoare, considerând propagarea undei în *spațiul liber* (fără a se ține seama de curbura Pământului, de refracția și absorbția atmosferei), prin aplicarea *ecuației aproximative a radarului:*

$$d_{max} = \sqrt{\frac{PeGeGr\lambda^2 A}{64\pi^2 Pmin}} \qquad (30\text{-}1)$$

în care: Pe = puterea emițătorului; Ge = câștigul antenei la emisie; Gr = câștigul antenei la recepție; λ = lungimea de undă; A = aria efectivă de reflexie a țintei; P_{min} = puterea minimă necesară la intrarea receptorului.

În realitate, bătaia radarului este influențată considerabil de refracția undei electromagnetice, care este mai mare decât a celei luminoase. Refracția fasciculului radar este funcție de lungimea de undă și, în principal, de temperatura, presiunea și umiditatea straturilor inferioare ale atmosferei. Condițiile de refracție normală, se consideră pentru temperatura aerului de + 15°C, presiune 760 mm și umiditatea relativă de 60%.

Dacă presupunem rotația antenei A a radarului, de înălțime h_A, curba de refracție pe care se propagă lobul inferior al fasciculului mătură sfera terestră de-a lungul cercului mic DD', care se numește *orizont radar* (fig. 30-21). În cazul lungimii de undă de 3 cm și în condiții de refracție normală, distanța ZD la orizontul radar este mai mare cu circa 6% decât distanța ZC la orizontul vizibil (vezi cap. 2, § 3) și cu circa 15% decât distanța ZB la orizontul geometric. În mod analog procedeul de determinare a distanței la orizontul vizibil (formula 2–8), se stabilește că în condiții de refracție normală, bătaia d la orizontul radar, în mile marine, la înălțimea h_A a antenei, în metri, este exprimată de relația:

$$d = 2.20\sqrt{h_A} \qquad (30\text{-}2)$$

În acest caz, bătaia d_T la o țintă de înălțimea h_T devine:

$$d_T = (2.20\left(\sqrt{h_A} + \sqrt{h_T}\right) \qquad (30\text{-}3)$$

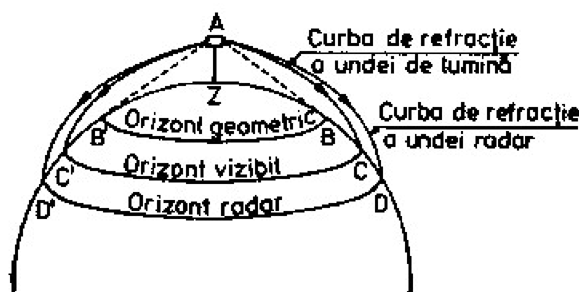


Fig. 30-21

Este evident că imaginea țintei se obține doar în cazul în care $d_T < d_{max}$

Bătaia la orizontul radar variază funcție de condițiile de refracție a fasciculului de radiație. În caz de *suprarefracție,* bătaia la orizontul radar crește; fenomenul este

frecvent în apropierea coastei (în zona temperată şi tropicală), în condiţii de creştere a temperaturii aerului şi scădere a umidităţii, la trecerea unei mase de aer cald la suprafaţa mării. Bătaia la orizontul radar scade în caz de *subrefracţie;* fenomenul are loc îndeosebi la latitudini mari, în condiţii de scădere a temperaturii atmosferice, la trecerea unei mase de aer rece la suprafaţa mării.

Bătaia radarurilor navale folosite la navele maritime comerciale variază între 24–60 Mm.

În cazul unei antene radar la înălţimea de 15 m, în condiţii de refracţie normală, experienţa arată următoarele bătăi aproximative la o serie de ţinte:

- colină sau coastă abruptă cu o înălţime de 30 m .... 15 Mm;
- navă (de cca 12 000 TRB) .... 12–17 Mm;
- nave mici (de cca 1 000 TRB) .... 6–10 Mm;
- nave far .... 6–10 Mm;
- nave mici de pescuit .... 3–9 Mm;
- geamanduri foarte mici .... 0.5–1 Mm;
- geamanduri mari .... 4–6 Mm;
- geamanduri cu reflector radar .... 6–8 Mm;
- coaste joase .... 1–6 Mm.

Pe timp de ceaţă, aceste distanţe pot fi reduse cu 15–20% datorită efectului de absorbţie.

2 Distanţa minimă (minimum range)

Dsitanţa minimă la care poate fi detectată o ţintă, performanţă de importanţă deosebită la navigaţia în ape înguste, este determinată, în principal, de durata impulsului de emisie. Astfel, dacă durata impulsului este τ, distanţa minimă $d_{min} = \frac{\tau c}{2}$, unde c = viteza de propagare a undei, la un impuls de 0.2μs, de exemplu, distanţa minimă teoretică este de 30 m. Practic, această distanţă poate fi puţin mai mare.

Distanţa minimă este condiţionată de durata impulsului, deoarece receptorul este deconectat de antenă pe timpul emisiei.

3 Puterea de separare radială (range resolution)

Puterea de separare radială caracterizează posibilitatea de a distinge pe ecran ecourile primite de la două ţinte apropiate, aflate pe aceeaşi direcţie de propagare a fasciculului.

Intervalul de timp Δt dintre momentele recepţiei impulsurilor de la două asemenea ţinte este $\Delta t = \frac{2\Delta d}{c}$, unde Δd este distanţa dintre acestea. Puterea de separare radială este determinată deci de intervalul de timp minim dintre două impulsuri consecutive, astfel ca acestea să nu se confunde într-un singur ecou.

Acestui interval de timp minim îi corespunde o diferență de distanță radială minimă Δd_{min}, la care două ținte sunt reproduse separat; ea este funcție de durata impulsului τ, fiind exprimată de ralația $\Delta d_{min} = \frac{\tau c}{2}$

La radarurile moderne, durata impulsului la scara de distanță minimă variază între 0.05 și 0.1 μs. Practic, puterea de separare radială ia valori între 9 și 32 m.

4 Puterea de separare unghiulară (bearing resolution)

Puterea de separare unghiulară a două ținte aflate la aceeași distanță este determinată de lățimea θ a fasciculului (vezi fig. 30-12). Pentru ca cele două ținte să nu se confunde într-un singur ecou, trebuie ca unghiul dintre ele să fie mai mare decât θ.

Așa cum s-a arătat la § 7, lățimea fasciculului la radarurile navale ia valori de 0°.6 la 2°, care indică limitele puterii de separare unghiulară. La radarurile cu lățimea cea mai mică a fasciculului, puterea de separare unghiulară este mai redusă de circa 30 de ori decât a ochiului liber și de circa 300 de ori în cazul observației vizuale cu instrumente optice.

5 Precizia măsurării relevmentului

Presupunem că un obiect *T* de mărime redusă, de exemplu o geamandură, intră în bătaia fasciculului radar, de lățime θ (fig. 30-22); pe timpul rotirii antenei, când ținta se află în zona câmpului minim de radiație, la marginea lobului din sensul de rotație, se obține pe ecran primul semnal *a* în direcția *OA* a reflectorului. Ținta continuă să rămână sub incidența impulsurilor emise până ce antena ajunge în direcția *OB*, când se obține semnalul *b*. Astfel, o țintă practic punctiformă este reprezentată pe ecran printr-un spot luminos ca un arc *ab* egal cu lățimea fasciculului; mărimea lui crește cu distanța la țintă. Fenomenul este cunoscut sub denumirea de *deformația laterală a imaginii țintei.*

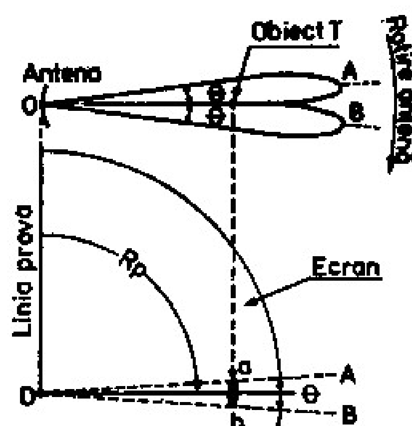


Fig. 30-22

Această deformare crește cu calitățile reflexive ale țintei. Astfel, de exemplu, la o țintă cu bune calități reflexive, primul ecou pe ecran se obține în momentul în care aceasta intră sub incidența zonei marginale a lobului din sensul de rotație a antenei,

unde intensitatea câmpului radiat este minimă. Dimpotrivă, o țintă cu calități reflexive la limită generează un ecou capabil să producă un semnal pe ecran numai în momentul în care se află pe direcția câmpului maxim al lobului de radiație.

Pentru eliminarea efectului deformației laterale a imaginii la măsurarea relevmentului, se impune ca cursorul de relevment să fie orientat pe centrul spotului luminos al țintei; astfel, în exemplul din figura 30-22, relevmentul prova la ținta *T* este dat de unghiul format între *linia prova* și cursorul de relevment orientat pe direcția bisectoarei la unghiul *aOb*.

Precizia măsurării relevmentului radar este funcție în principal de:

- lățimea fasciculului;
- orientarea cursorului de relevment funcție de deformația laterală a imaginii țintei;
- erori în sincronismul dintre mișcarea de rotație a antenei și cea a fasciculului electronic pe fața tubului catodic;
- coincidența dintre centrul imaginii (marcată pe ecran prin *spotul central)* și centrul de rotație al cursorului mecanic, în cazul folosirii acestuia pentru măsurarea relevmentului. Eroarea este inversă cu distanța la țintă. Deoarece această eroare poate să ia valori considerabile, se recomandă verificarea acestei coincidențe înainte de măsurarea relevmentului cu cursorul mecanic; în caz de necesitate, se procedează mai întâi la *centrarea imaginii.*

Considerând că reglarea indicatoruuli este corect făcută, precizia relevmentului radar este practic de $\pm 1°$ la $2°$, mai redusă deci decât a relevmentului vizual.

6 Precizia măsurării distanței

Precizia cu care se poate măsura distanța la o țintă este indicată în documentația tehnică a instalației, fiind exprimată în procente din scara de distanță pe care funcționează radarul. La instalațiile moderne, ea este cuprinsă între 1 și 2.5%. Astfel, la o precizie de 1%, la scara de 12 Mm, eroarea probabilă în măsurarea distanței este de ±0.12 Mm.

Pe lângă argumentele de ordinul conținutului și clarității imaginii, acest fapt impune folosirea radarului la scara de distanță minimă funcție de situația de navigație.

Pentru rezolvarea problemelor de poziție cu radarul, este de reținut că *precizia măsurării distanțelor este superioară preciziei măsurării relevmentului.*

§10 Utilizarea radarului în navigație

1 Câteva considerații

Radarul aduce servicii de importanță deosebită siguranței navigației în condiții de vizibilitate redusă, ptrecum și pe timp cu vizibilitate bună, când se navigă în zone dificile. Instalația se menține continuu în funcție pe vizibilitate redusă și în zone dificile de navigație; în condiții când situația poate impune folosirea radarului pentru anumite intervale de timp, sau dacă este de temut o reducere a vizibilității (înaintea unor averse de ploaie etc.), instalația se menține în *stare de pregătire (stand-by).*

Punctul radar se determină prin intersecția a două sau mai multe *linii de poziție radar: cercul de egală distanță și dreapta de relevment radar* (vezi cap. 10 § 2, § 3, pct. 2 și 3). Alegerea reperelor din punct de vedere al criteriilor de intersecție a liniilor de poziție, precum și rezolvarea grafică a problemelor de determinare a punctului se efectuează în modul indicat la capitolele 11 și 13. De asemenea, punctul navei se poate determina prin intersecția unei linii de poziție radar cu o altă linie de poziție costieră, radio etc.

Când condițiile permit, se recomandă folosirea cu prioritate a distanțelor radar, deoarece acestea sunt mai precise decât relevmentele.

Folosirea cu succes a radarului în navigație este condiționată de competența observatorului de a interpreta corect și rapid imaginea de pe ecran a situației de navigație, precum și de cunoașterea precisă a performanțelor și limitărilor instalației. Pentru cel ce cunoaște bazele radiolocației, deprinderile necesare se obțin prin exerciții metodice în condiții de vizibilitate bună, confruntând imaginea radar cu situația de navigație din jurul navei, prin observație vizuală.

Exigența în rapiditatea interpretării imaginii și a preciziei rezolvării problemei de poziție crește pe măsura apropierii navei de coastă, culminând în situația navigației din zone restrânse cu pericole de navigație. În cele ce urmează, se prezintă succint aspecte specifice ale folosirii radarului la aterizări, în navigația costieră și în ape înguste.

2 La aterizări

Considerăm o navă care după o traversală trebuie să execute aterizarea la coastă cu ajutorul radarului, în condiții de vizibilitate redusă. În această situație, succesul folosirii radarului este condiționat îndeosebi de alegerea drumului de aterizare. Când coasta oferă aspecte variate, alegerea zonei de aterizare se face astfel ca să ofere condiții cât mai favorabile observației cu radarul. Existența unor repere prevăzute cu balize radar emitente de semnale distincte de recunoaștere, facilitează identificarea coastei și determinarea poziției navei la distanță mare. Coastele înalte și abrupte, precum și cele cu proeminențe izolate, asigură condiții bune de aterizare.

Dimpotrivă, coastele joase, cu un relief uniform, pot prezenta dificultăți serioase deoarece detectarea se face la distanță mică și identificarea este greu de realizat.

După alegerea drumului de aterizare, se procedează la studiul topografiei zonei costiere de aterizare și se stabilesc distanțele maxime la care urmează a se detecta obiectele cu cele mai bune proprietăți reflexive. Determinarea distanței la acestea se face prin aplicarea formulei 30-3, funcție de înălțimea antenei și a obiectului deasupra nivelului mării. Documentația tehnică a instalației radar de la bord, precum și noile ediții ale unor cărți pilot, conțin tabele sau curbe ce exprimă distanța la orizontul radar, întocmite pe baza formulei 30-3.

De îndată ce apar pe ecran primele ecouri de la coastă, se impune identificarea lor. În acest stadiu, un singur ecou de la o baliză radar însoțită de un semnal distinctiv de recunoaștere poate servi atât la identificarea coastei, cât și la determinarea poziției navei cu un relevment și o distanță.

În lipsa unei balize radar, problema identificării coastei şi controlul poziţiei navei trebuie tratată cu prudenţă, folosind un procedeu similar celui de determinare a punctului cu două unghiuri orizontale, cu ajutorul hârtiei de calc (vezi cap. 12, § 2). Presupunem că s-au obţinut pe ecran imaginile clare a trei obiecte *A,B,C,* la care s-au

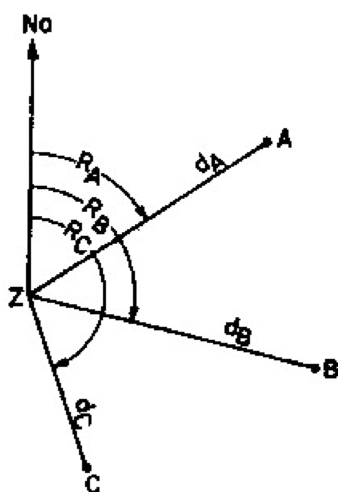


Fig. 30-23

măsurat relevmentele R_A, R_B, R_C şi distanţele d_A, d_B *şi* d_C; identificarea lor şi controlul poziţiei navei se efectuează astfel (fig. 30-23):

– pe o hârtie de calc, nava se consideră într-un punct *Z*, prin care se trasează cele trei relevmente, în raport cu direcţia nord adevărat *Na*;

– la scara hărţii de navigaţie se aplică distanţele măsurate de-a lungul dreptelor de relevment respectiv, cu originea în *Z*, obţinându-se astfel poziţiile obiectelor *A,B,C,* în raport cu punctul navei;

– se suprapune hârtia de calc peste hartă, cu punctul *Z* în apropierea punctului estimat al navei şi se tatonează până când punctele *A, B, C* sunt aduse în coincidenţă cu reprezentările de pe hartă ale celor trei obiecte observate (forme topografice proeminente, insule etc.).

În acest mod, poziţia navei cât şi identificarea obiectelor sunt confirmate prin intersecţia a şase linii de poziţie, trei distanţe şi trei relevmente.

Apropierea se continuă până când se obţine o imagine clară şi completă a coastei, după care se ia drumul costier spre punctul de destinaţie, funcţie de con-diţiile specifice de navigaţie. Imaginea radar începe să indice linia coastei la distanţe variind între 15 şi 6 Mm, funcţie de topografia acesteia.

3 În navigaţia costieră

Pentru determinarea poziţiei navei, distanţele se măsoară la puncte distincte ale imaginii radar, ce pot fi identificate pe hartă: forme caracteristice ale coastei, părţi proeminente, capuri, capete de diguri etc.

Relevmentul se măsoară ca bisectoare ale imaginii radar a unor stânci sau insule mici (cum se întâlnesc în Marea Egee, Adriatică etc.), pe direcţiile tangente la marginea unor insule, capuri distincte, capete de diguri etc.

În cazul măsurării relevmentului la extremitatea unei insule, coaste etc. (fig. 30-24), ecoul se obține în momentul când imaginea dinspre uscat a lobului inferior de radiație este tangent la linia coastei; spotul luminos al punctului de tangență apare pe direcția *ZA* și, respectiv, *ZB* a câmpului maxim de radiație, cu o eroare în relevment deci egală cu jumătatea lățimii fasciculului $\frac{\theta}{2}$. Rezultă că, *în cazul măsurării relevmentului radar pe o direcție tangentă la coastă, se impune aplicarea*

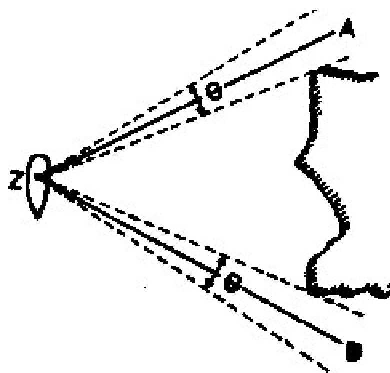


Fig. 30-24

unei condiții egale cu $\frac{\theta}{2}$ *cu sensul spre uscat.* Astfel, în cazul relevmentului R_A corecția este pozitivă, iar a relevmentului R_B este negativă. Valoarea lățimii fasciculului este indicată în documentația tehnică a radarului.

Procedeele aplicate frecvent pentru determinarea punctului în apropierea coastei, în ordinea priorității lor, sunt următoarele:

– o distanță radar și un relevment cizual, când condițiile de observație permit;

– două sau mai multe distanțe radar. Pentru a se elimina incertitudinea în identificarea vreunui punct observat se recomandă utilizarea a cel puțin trei distanțe (fig. 30-25);

– o distanță radar și un relevment radar la un reper prevăzut cu o baliză radar;

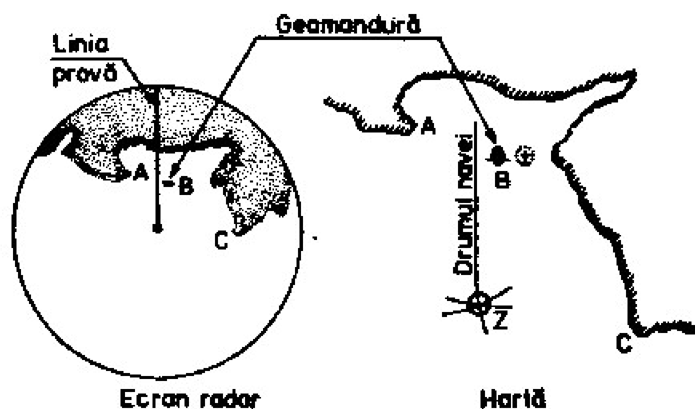


Fig. 30-25

– o distanță radar și un relevment radar la același obiect sau la obiecte diferite.

Navigația se ține la zi cu ajutorul estimei grafice. Punctele de schimbare de drum se controlează prin măsurarea distanței la obiecte aflate în prova sau pupa

navei (navă far, geamandură etc.) sau după indicațiile locului în raport cu ultimul punct radar.

În navigația costieră, în condiții de vizibilitate redusă, cât și pe vizibilitate bună în zone dificile, radarul se folosește cu mult succes prin aplicarea procedeului evitării pericolelor cu o singură linie de poziție (vezi cap. 14, § 4). Astfel, se aplică foarte frecvent procedeul distanței limită la puncte proeminente la coastă (*A* și *C*), sau a unor pericole (*B*) aflate la suprafața apei și luarea unui drum tangent la cercurile

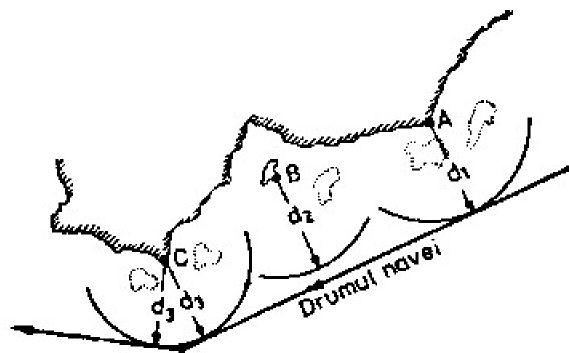


Fig. 30-26

de distanță exterioare (fig. 30-26). Menținerea navei în afara distanțelor limită d_1, d_2, d_3 se controlează de regulă prin folosirea cercurilor fixe de distanță și a liniilor paralele ale cursorului mecanic, orientat pe direcția liniei prova.

4 În treceri dificile

Trecerea unei strâmtori fără asistența unui pilot, cum este cazul strâmtorii Messina, Dardanele etc., în condiții de vizibilitate redusă, cu ajutorul radarului, impune un studiu atent al condițiilor specifice ale coastei, balizajului etc., din punct de vedere al imaginilor radar pe care acestea le pot produce. *În funcție de concluziile ce se desprind din acest studiu, se procedează la trasarea drumului pe care nava trebuie să-l urmeze apoi cu rigurozitate.* Procedeul distanței limită la punctele distincte de la coastă, stânci la suprafața apei etc. (fig. 30-26) și folosirea *liniei prova* ca relevment direcțional, pe geamanduri sau alte repere care produc imagini radar ușor de identificat, dă rezultate practice foarte bune. Navigația este ținută la zi pe hartă de către ofițerul de cart, notându-se și citirea la loch în dreptul punctelor radar determinate.

Identificarea imaginii radar și confruntarea cu harta, precum și determinarea poziției navei trebuie executate cu precizie și multă rapiditate. Pentru facilitarea acestor operații, la trasarea preliminară a drumului se însemnează pe hartă valorile tuturor distanțelor și a relevmentului la obiectele ce urmează a fi identificate pe timpul navigației.

§11 Determinarea drumului și a vitezei de evitare cu observații radar

În condiții de vizibilitate redusă, radarul constituie mijlocul de bază pentru supravegherea mișcării navelor din zonă în raport cu nava proprie, constatarea pericolului de abordaj și executarea manevrei de evitare. Ceea ce trebuie reținut însă

foarte clar de la început este faptul că radarul nu este mijlocul pentru conducerea unei manevre de evitare într-o situaţie dramatică de ultim moment; în asemenea condiţii, încercarea utilizării lui este tardivă. Dimpotrivă, folosirea radarului în acest scop dă rezultate excepţionale numai dacă supravegherea unei nave semnalată pe ecran se face în mod metodic şi se iau măsuri corespunzătoare de evitare în timp util. *În condiţii der vizibilitate redusă distanţa de evitare dintre nave trebuie să fie apreciabil mai mare decât pe vizibilitate bună, iar iniţierea manevrei se impune să fie întreprinsă cu mult mai devreme;* o întârziere, în această situaţie, poate provoca reacţii nedorite pe comanda celeilalte nave, care să conducă la mărirea riscului de coliziune.

Folosirea cu succes a radarului în acest domeniu impune din partea navigatorului o interpretare corectă a mişcării relative observate în raport cu nava proprie.

1 Determinarea drumului şi vitezei navei cu relevmente şi distanţe succesive. Mişcarea relativă

În discuţia problemelor de mişcare relativă şi evitare, de mai jos, se consideră:

– A, nava proprie;

– B, nava observată (nava faţă de care se manevrează).

Drumul D_A şi viteza A_A sunt cunoscute; elementele de mişcare ale navei B, drumul D_Bşi viteza V_B, precum şi mişcarea relativă faţă de A se determină prin măsurarea de relevmente şi distanţe succesive cu radarul. În cazul existenţei pericolului de coliziune între cele două nave, stabilit în modul indicat mai jos la § 14, se poate determina variaţia necesară a elementelor de mişcare D_A sau V_A ale navei proprii, astfel ca să se asigure evitarea navei B la o anumită distanţă.

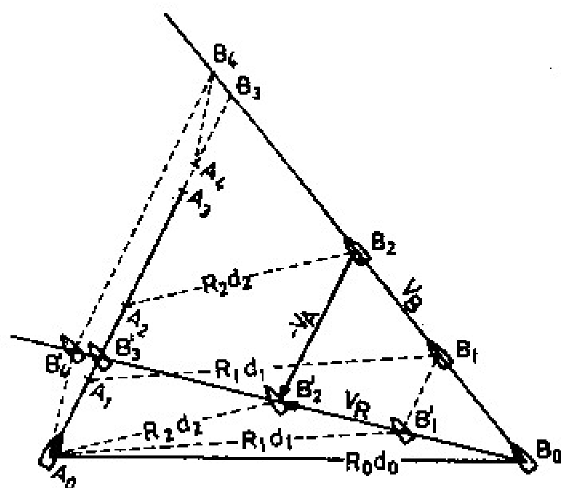


Fig. 30-27

Presupunem că nava A merge în drumul D_A cu viteza V_A; pentru determinarea drumului şi vitezei navei B se fac următoarele observaţii cu radarul (fig. 30-27):

– în momentul t_0, când A se află în A_0, se măsoară la B relevmentul R_0 şi distanţa d_0;

– în momentul t_1, când A se află în A_1, se măsoară la B relevmentul R_1 şi distanţa d_1;

– în momentul t_2, când A se află în A_2, se măsoară la B relevmentul R_2 și distanța d_2.

Se trasează relevmentul și distanțele în momentele t_0, t_1, t_2 prin pozițiile corespunzătoare A_0, A_1, A_2 ale navei A și se obțin astfel pozițiile B_0, B_1, B_2 ale navei B. Unind pozițiile B_0, B_1, B_2 se determină drumul D_B urmat de nava B; spațiul B_0B_2 raportat la intervalul de timp $t_2 - t_0$ dă viteza V_B a navei B.

Considerând nava A staționară în A_0 și trasând relevmentele și distanțele succesive R_0d_0, R_1d_1, R_2d_2 prin acest punct, se obțin pozițiile relative B_0, B_1, B'_1, B'_2 ale navei B dată de A, în momentele t_0, t_1, t_2. Direcția $B_0B'_1B'_2$ care le unește determină *drumul relativ* D_R *al navei B față de A;* spațiul $B_0B'_2$ raportat la intervalul de timp $t_2 - t_0$ dă *viteza relativă* V_R. Observatorul de pe nava A vede deci nava B animată de mișcarea D_R și V_R față de nava proprie, numită și *indicatoarea mișcării relative.*

Presupunând că intervalul $t_2 - t_0$ reprezintă unitatea de timp și că vectorii VA și V_B ce definesc mișcările celor două nave se cunosc (mișcarea navei B fiind determinată în modul arătat mai sus), mișcarea relativă a navei B față de A se poate determina și prin construcția triunghiului vitezelor $B_0B_2B'_2$ ce rezolvă relația vectorială $V_R = V_B - V_A$, astfel:

– din B_2, ca vârf al vectorului V_B, se trasează $-V_A$, egal și de sens contrar cu V_A;

– se unește B cu vârful vectorului $-V_A$ și se obține vectorul mișcării relative V_R a navei B față de A.

Privind mișcarea relativă a navei B față de A din figura 30-27, precum și mișcările lor reale se desprind următoarele:

– nava A pierde la relevment (relevmentul la B variază spre prova), nava B intersectând drumul navei A în prova la distanța $A_0B'_3$. Pozițiile reale ale celor două nave în aceste moment sunt A_3 și B_3; poziția A_3 se determină pe drumul D_A la o distanță egală cu $A_0B'_3$. Timpul necesar față de momentul t_0 ca B să ajungă în prova navei A este egal cu $\dfrac{B_0B'_3}{V_R} = \dfrac{A_0A_3}{V_A} = \dfrac{B_0B_3}{V_B}$;

– distanța minimă la care B trece față de A se obține prin coborârea perpendicularei din A_0 pe indicatoarea mișcării relative, fiind egală cu $A_0B'_4$. Pozițiile reale corespunzătoare acestui moment sunt B_4 și A_4; B_4 se obține la intersecția drumului navei B cu paralela dusă la D_A prin B_4; A_4 este intersecția drumului navei A cu paralela la $A_0B'_4$ dusă prin B_4.

Acest mod de rezolvare a problemei se aplică pe harta de navigație sau pe hârtie milimetrică, pezentând avantajul unei imagini fidele cu situația de pe mare.

Rezolvarea problemelor de evitare impune însă pe lângă precizie și o rapiditate cât mai mare. În acest scop se folosește *raportorul-diagramă* (fig. 30-28), care constă dintr-o serie de cercuri concentrice trasate la intervale egale cu unitatea de distanță; cercul exterior este gradat de la 0° la 360°, la precizie de grad.

Linia formată de centrul raportorului cu gradația 0° poate reprezenta fie *direcția nord* și în acest caz direcțiile în orizont sunt determinate de drumuri și relevmente adevărate sau *linia prova,* când direcțiile sunt definite de relevmentele prova.

Elementele de observație, relevmentele și distanțele se trec cu rapiditate cu ajutorul cercului raportor exterior și al cercurilor de distanță. Nava proprie A se

consideră în centrul raportorului, față de care se determină mișcarea relativă a navei B, ce stă apoi la baza determinării drumului și vitezei navei B, astfel:

– se determină pozițiile relative B_0, B'_1, B'_2 ale navei B față de centrul A al raportorului, prin trasarea relevmentelor și distanțelor R_0d_0, R_1d_1, R_2d_2 luate în momentele t_0, t_1, t_2, precum și drumul relativ D_R și viteza relativă V_R, în modul

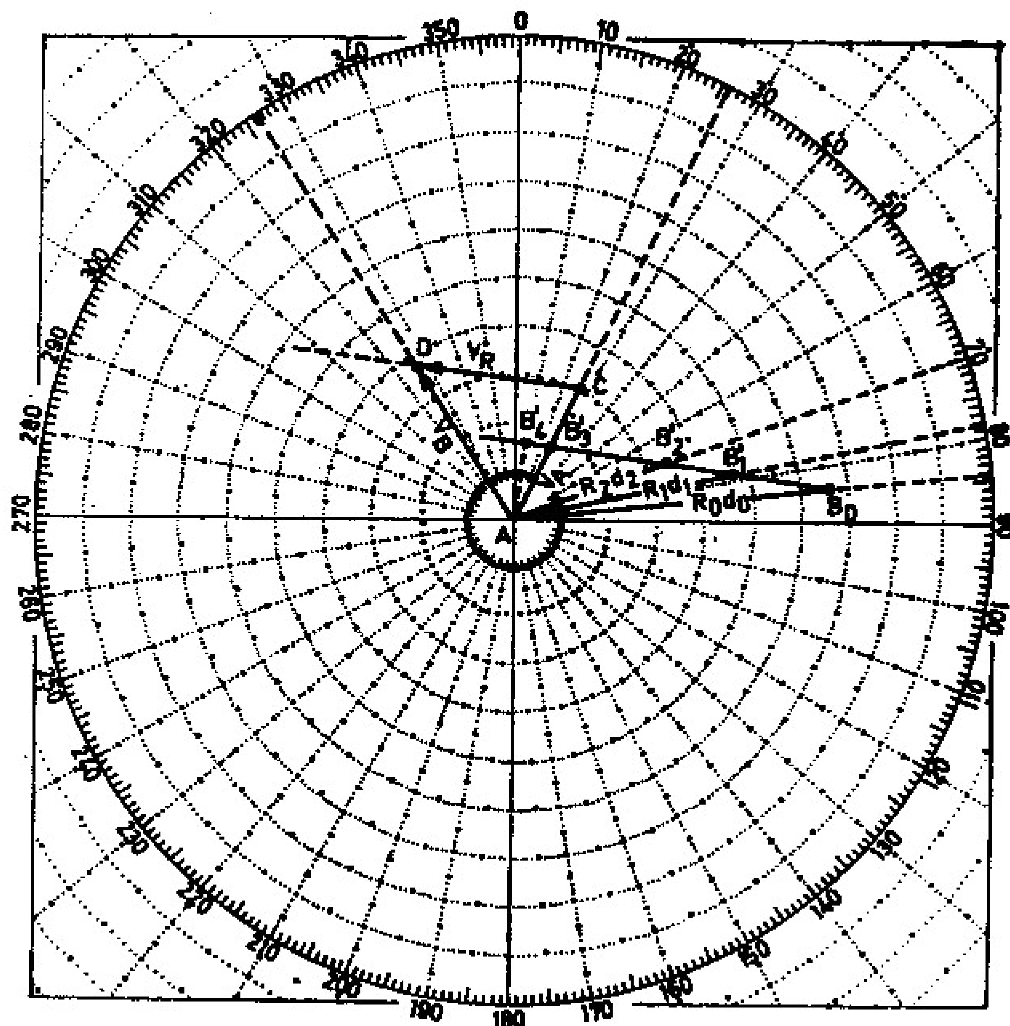


Fig. 30-28

indicat mai sus. Intervalul $t_2 - t_0$ se consideră egal cu unitatea de timp, astfel că spațiul $B_0B'_2$ reprezintă însuși vectorul mișcării relative V_R;

– se trasează vectorul V_A cu originea în A, având vârful C;

– se duce vectorul V_A cu originea în C, având vârful D;

– se unește A cu D și se obține vectorul V_B, care exprimă drumul și viteza navei B.

Construcția triunghiului vitezelor ACD în acest mod rezolvă relația vectorială $V_B = V_A + V_R$.

Indicatoarea mișcării relative astfel determinată pe raportul diagramă reală imaginea radar „în mișcare relativă față de direcția nord" (vezi § 12), având linia prova orientată în drumul D_A, cu următoarea interpretare:

– nava B trece prin prova navei A la distanța AB'_3, după un interval de timp $\frac{B_0B'_3}{V_R}$ față de momentul t_0;

– perpendiculara AB'_4 arată distanța minimă la care B trece față de A, după un interval de timp $\frac{B_0B'_4}{V_R}$ în raport cu momentul t_0.

Dacă relevmentul la B se menține constant și distanța scade, navele merg pe drumuri de coliziune; nava B se deplasează relativă față de A pe direcția determinată de relevmentul constant, cu o viteză relativ egală cu suma proiecțiilor vectorilor V_A și V_B pe această direcție. Timpul necesar producerii impactului este dat de raportul $\frac{d}{V_R}$.

2 Evitarea abordajului prin schimbarea drumului sau micșorarea vitezei navei

Evitarea abordajului se execută prin schimbarea de drum a navei și/sau reducerea vitezei, funcție de situația de navigație, astfel ca navele să treacă una de alta la o anumită distanță minimă. Pentru explicarea modului de rezolvare, pe baza celor arătate mai sus, considerăm că nava A merge în $D_A = 20°$, $V_A = 12$ Nd; cu ajutorul radarului se fac următoarele observații la nava B:

$t_0 = 08.12$ ... $Ra = 80°$ ... $d_0 = 6.0$ Mm;
$t_1 = 08.20$ ... $Ra = 80°$ ... $d_1 = 5.5$ Mm;
$t_2 = 08.25$ ... $Ra = 80°$ ... $d_2 = 5.0$ Mm;

Relevmentul constant măsurat arată existența pericolului de abordaj; se cere ca la $t_3 = 08.30$ nava A să ia un drum sau să micșoreze viteza astfel încât navele

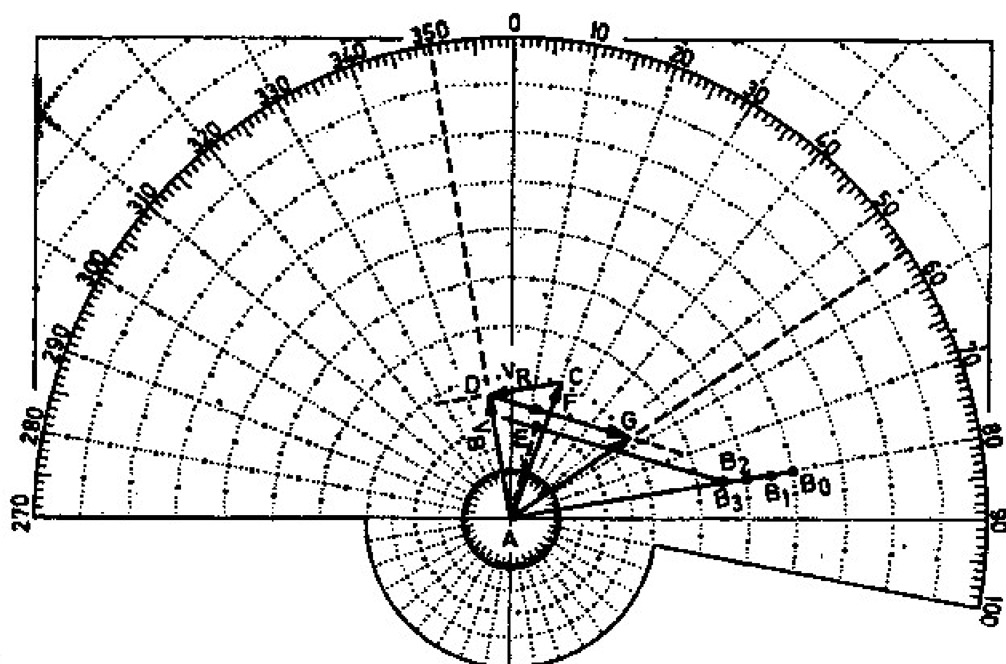


Fig. 30-29

să treacă una față de alta la distanța minimă de 2 Mm. Problema se rezolvă astfel (fig. 30-29):

– se stabilește scara distanțelor, intervalul dintre două cercuri egal cu 1 Mm și linia A – 0° reprezentând direcția nord;

– se determină pozițiile relative B_0, B_1, B_2 în relevmentul de 80° măsurat la B, la distanțele d_0, d_1, d_2. Spațiul B_0B_2 = 1 Mm reprezintă distanța relativă parcursă de B față de A în intervalul de timp $t_2 - t_0 = 10$ minute. Viteza relativă $V_R = 6$ Nd, deci prin menținerea elementelor de mișcare existente de către cele două nave, coliziunea ar avea loc după 1 oră, față de momentul t_0;

– se determină poziția relativă B_3 a navei B pentru momentul $t_3 = 08.30$, când trebuie să înceapă manevra de evitare; spațiul relativ $B_2B_3 = V_R(t_2 - t_2) = 0.5$ Mm;

– se construiește triunghiul vitezelor ACD, alegându-se scara vitezelor în raport de $\frac{t_3 - t_0}{60\,\text{min.}} = \frac{15\text{ min.}}{60\text{ min.}} = \frac{1}{4}$ din scara distanțelor, astfel:

– se trasează vectorul AC determinat de $D_A = 20°$ și $V_A = 12$ Nd; la scara vitezelor de $\frac{1}{4}$ din cea a distanțelor, $AC = 3$ Mm;

– se duce paralela la drumul relativ B_0A, $D_R = 260°$, prin C, pe care se măsoară vectorul mișcării relative $CD = B_0B_3 = V_R$;

– se unește A cu D și se obține vectorul AD al mișcării reale a navei B (D_B = 350°; $V_B = 10.4$ Nd).

Se determină drumul de evitare, menținând viteza, astfel:

– din B_3, poziția relativă a navei B în momentul $t_3 = 08.30$ de începere a manevrei, se duce tangenta B_3E la cercul distanței minime de evitare, de 2 Mm; tangenta se duce întotdeuna în sensul drumului navei. A Tangenta B_3E reprezintă direcția relativă de evitare și spațiul relativ de parcurs pentru ca cele două nave să ajungă la distanța minimă de 2 Mm;

– se duce paralela la B_3E prin D, în sensul de deplasare relativă a navei A față de B, prelungindu-se până la intersecția G cu cercul de viteză a navei A. Vectorul AG reprezintă drumul de evitare $D'_A = 55°.5$, menținând viteza $V_A = 12$ Nd; în acest caz, nava A se deplasează relativ față de B în $D'_R = 106°$ (paralela la DG prin A), cu viteza relativă V'_R = DG = 12 Nd, trecând la distanța minimă de 2 Mm. Timpul necesar navei A ca să ajungă la distanța minimă față de B, deci ca să execute manevra de evitare, este egal cu $\frac{B_3E}{V_R} = \frac{4\,Mm}{12\,Nd} = 20$ min.

În cazul evitării prin schimbarea drumului și menținerea vitezei, triunghiul vitezelor este ADG, ce rezolvă relația vectorială $AG = AD + DG$.

Evitarea prin reducerea vitezei și menținerea drumului se rezolvă astfel: se duce paralela la B_3E prin D, în sensul de deplasare relativă a navei A față de B, prelungindu-se până la intersecția F cu drumul $D_A = 20°$. Vectorul AF reprezintă viteza de evitare $V'_A = 9.2$ Nd, menținând drumul $D_A = 20°$. În acest caz, drumul relativ de evitare este același $D'_R = 106°$ (paralela la DF prin A); viteza relativă V'_R = $DF = 5.2$ Nd, mai mică decât la evitarea prin schimbarea drumului. Timpul necesar evitării (ajungerii deci la distanța minimă) este $\frac{B_3E}{V_R} = \frac{4Mm}{5 \cdot 2\text{ Nd}} = 46$ min.

În cazul evitării prin micșorarea vitezei și menținerea drumului, triunghiul vitezelor este ADF, ce rezolvă relația vectorială $AF = AD + DF$, respectiv $V'_A = V_B + V'_R$.

Intervalul de timp $t_3 - t_2$, dintre momentul ultimei măsurători la nava *B* şi iniţierea manevrei este necesar pentru determinarea drumului sau a vitezei de evitare; cu raportorul diagramă, problema se rezolvă în cel mult un minut.

Alegerea soluţiei de manevră, prin schimbarea drumului sau reducerea vitezei, este funcţie de situaţia de navigaţie.

§12 Forme de prezentare a imaginii radar

La radarurile navale, imaginea poate fi prezentată în trei forme principale:
- în mişcare relativă faţă de linia prova;
- în mişcare relativă faţă de direcţia nord;
- în mişcare reală faţă de direcţia nord.

1 Mişcarea relativă faţă de linia prova

Această formă de prezentarc a imaginii radar este descrisă mai sus în prezentul capitol (fig. 30-30): nava proprie *A*, în centrul imaginii, cu linia prova în $R_p = 0°$. Relevmentele măsurate sunt relevmente prova în raport cu linia prova. Relevmentele adevărate se obţin din relaţia $Ra = Rp + Da$.

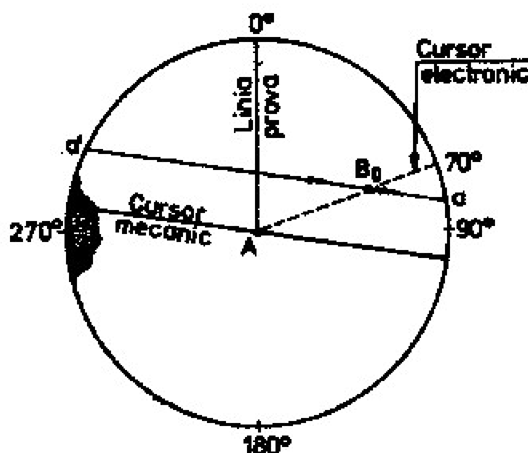


Fig. 30-30

Considerăm o navă *B* în poziţia *B*0 faţă de *A*. Dată fiind proprietatea de persistenţă a ecranului şi ca urmare a deplasării spotului *B* faţă de centrul imaginii, acesta este însoţit de o dâră luminoasă orientată pe indicatoarea mişcării relative, numită *„coada ţintei"*; estomparea ei este orientată în sens opus drumului relativ. Acest fenomen permite măsurarea cu aproximaţie a drumului relativ al navei *B* faţă de nava proprie, prin rotirea cursorului mecanic paralel cu *coada ţintei*; lungimea acesteia este proporţională cu viteza relativă.

La schimbări de drum, întreaga imagine de pe ecran se roteşte faţă de centru în sens invers giraţiei. Datorită persistenţei ecranului, imaginea lasă o urmă luminoasă de intensitate descrescândă, care dispare la puţin timp după stabilizarea navei la drum.

La acest mod de prezentare, când se foloseşte cursorul mecanic pentru măsurarea relevmentelor, se impune verificarea cu atenţie a centrării imaginii.

2 Mişcarea relativă faţă de direcţia nord

În acest mod de prezentare, imaginea este stabilizată în orizont prin conectare la girocompas; nava proprie apare în centrul imaginii, linia formată de centru cu gradaţia 0° reprezintă direcţia nord adevărat, faţă de care linia prova este orientată sub un unghi egal cu drumul navei (fig. 30-31).

Ecoul pe ecran B_0 produs de o navă prezintă de asemenea fenomenul de coadă a ţintei, folosit pentru măsurarea drumului relativ al acesteia faţă de nava proprie.

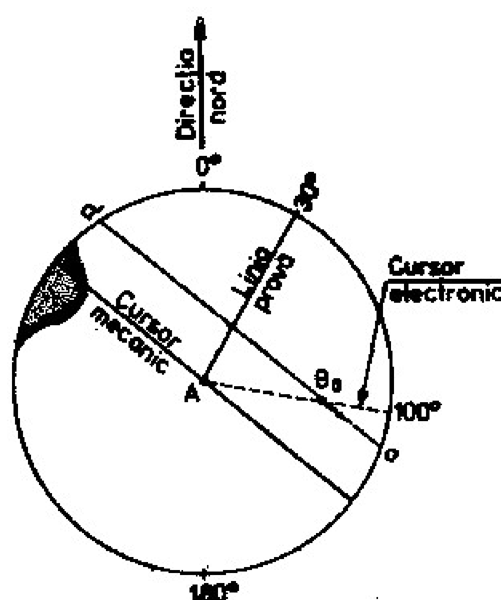


Fig. 30-31

La giraţia navei, imaginea se menţine stabilă în orizont, doar linia prova mătură ecranul în sensul şi cu viteza unghiulară a giraţiei.

Este o formă de prezentare care dă bune rezultate la navigaţia în strâmtori şi în apropierea coastei, deoarece redă imaginea hărţii de navigaţie.

3 Mişcarea reală faţă de direcţia nord

Această formă de prezentare este realizată prin conectarea radarului cu girocompasul şi lochul. Imaginea radar este stabilizată în orizont, coasta şi obiectele fixe îşi menţin poziţiile, iar semnalul A al navei proprii indică mişcarea reală în raport cu acestea, la scara de distanţă reglată (fig. 30-32).

Celelalte nave sunt prezentate de asemenea cu mişcarea lor reală; în acest caz, *coada ţintei* indică drumul şi viteza reală a navei observate. Pentru exploatarea acestui avantaj, la unele tipuri de instalaţii persistenţa luminoasă a ecranului este

mărită, în scopul de a oferi condiții mai bune pentru determinarea elementelor de mișcare reală ale navelor observate.

Această formă a imaginii prezintă avantaje evidente la executarea manevrelor de evitare, cît și la navigația prin strâmtori și ape restrânse, deoarece

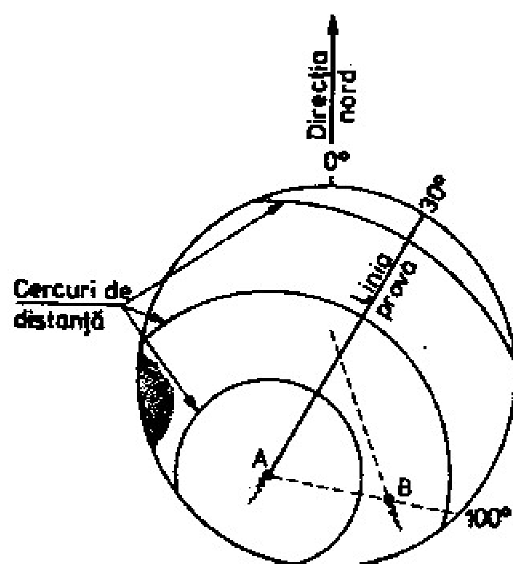


Fig. 30-32

indică mișcarea reală a navelor și permite identificarea cu ușurință a obiectelor fixe.

Măsurarea relevmentelor nu este posibilă decât cu cursorul electronic.

§13 Analiza pericolului de coliziune pe baza informațiilor radar

1 Prevederi ale Regulamentului internațional pentru prevenirea abordajelor pe mare (1972), privind folosirea informațiilor radar

În condiții de vizibilitate redusă, radarul este mijlocul de bază al navigației moderne pentru detectarea navelor din zonă; informațiile radar, relevmentele și distanțele succesive măsurate la o navă, servesc la determinarea pericolului de abordaj și a elementelor manevrei de evitare, atunci când există un asemenea pericol.

Informațiile radar se dovedesc de asemenea extrem de utile în scopul prevenirii abordajelor pe mare și în condiții de vizibilitate bună, în zonele cu trafic intens, atât de larg, cât și în apropierea coastei, îndeosebi pe timpul nopții și în situațiile întâlnirilor pe drumuri convergente. În aceste cazuri, informațiile radar permit stabilirea pericolului de coliziune în timp util, când navele se află încă la distanțe suficient de mari, determinarea ordinei de urgență în luarea măsurilor de prevenire în funcție de *parametrii mișcărilor de apropiere* față de diferite nave în zonă, precum și a elementelor manevrei de evitare.

Regulamentul internațional pentru prevenirea abordajelor pe mare – 1972 face o serie de precizări privind modul de folosire a instalației radar pentru evitarea pericolului de coliziune în condiții de vizibilitate redusă, izvorâte din experiența la

bordul navelor maritime în acest domeniu, de care trebuie să se țină seama cu multă atenție.

Astfel, Regula 7 *„Pericolul de abordaj"* indică necesitatea folosirii corespunzătoare a instalației radar, *cu explorare la distanță mare,* în scopul de a descoperi din timp un pericol de abordaj și de a evita formularea de concluzii privind modul de acțiune din informații radar insuficiente. Aprecierea pericolului de abordaj se face pe baza următoarelor considerente:

„– există pericol de abordaj dacă relevmentul compas la o navă care se apropie nu variază într-un mod apreciabil;

– în unele cazuri, *pericolul de abordaj există chiar dacă se observă că relevmentul variază apreciabil,* mai ales la apropierea de o navă foarte mare, de un convoi remorcat sau *de o navă care se află la distanță mică."*

Necesitatea explorării cu radarul la distanță mare, în scopul de a detecta navele care prezintă pericol de abordaj și de a lua măsuri de prevenire din timp, constituie o condiție esențială în practica folosirii cu succes a instalației la evitarea abordajelor. Nerespectarea acestui imperativ îl poate conduce pe cel de pe comanda navei la măsuri pripite de ultim moment, rezultate de regulă din informații radar insuficiente și dintr-o analiză lipsită de temeinicie, în măsură să provoace derută pe punțile de comandă ale navelor din apropiere și acțiuni ce pot amplifica pericolul de coliziune.

Regula 19 (d) prevede că în condiții de vizibilitate redusă „O navă care detectează numai cu radarul prezența unei alte nave, trebuie să stabilească dacă există posibilitatea unei *situații de foarte mare apropiere* și/sau a unui *pericol de abordaj.* În acest caz, *nava trebuie să ia cu mult timp înainte măsuri pentru evitarea acestei situații...".*

Considerând că manevra de evitare se inițiază la o distanță mare și că în zonă nu sunt nave care să fie jenate de acțiunea proprie, evitarea se execută de regulă, prin schimbarea drumului, în condițiile prevăzute de Regula 19 (d) –care cere să se evite, în măsura posibilului, următoarele manevre:

„– o schimbare de drum către babord, în cazul unei nave care se află înaintea traversului, cu excepția cazului când această navă este ajunsă din urmă;

– o schimbare de drum în direcția unei nave care se află la travers sau înapoia traversului."

Când manevra de evitare se execută în condițiile unei aglomerări de nave în zonă, se recomandă ca evitarea să fie efectuată prin reducerea vitezei.

Manevra de evitare trebuie efectuată în condițiile stabilite de *Regula 8 (d):* „Manevrele executate pentru evitarea abordajului cu o altă navă trebuie să fie astfel încât să permită trecerea la o *distanță de siguranță.* Eficacitatea manevrelor trebuie controlată cu atenție când cealaltă navă a fost complet și definitiv evitată." *Distanța de siguranță* de evitare a navelor, la care se referă prevederile Regulamentului, se stabilește funcție de particularitățile zonei de navigație, vizibilitate, trafic, mărimea și manevrabilitatea navei proprii etc. La larg, de regulă această distanță de siguranță se consideră de cel puțin 2 Mm.

Desigur, sarcina pusă navigatorului de pe comanda navei maritime crește în complexitate cu numărul țintelor de pe ecran, identificate ca nave. Să vedem deci cum pot fi folosite informațiile radar pentru stabilirea existenței unor *situații de*

foarte mare apropiere şi/sau a unor pericole de abordaj, a gradului de periculozitate a apropierii faţă de navele din zonă şi deci a ordinii de urgenţă în executarea manevrelor de evitare impuse de situaţie.

2 Parametrii mişcării de apropiere a două nave

În cele ce urmează, considerăm *A* – nava proprie, şi *B, C*, ... nave observate cu radarul, faţă de care se manevrează.

Posibilitatea pericolului de coliziune a navei *A* cu o navă *B* poate fi dedusă de analiza poziţiilor relative şi a mişcării relative a navei *B* faţă de *A*.

Poziţia relativă a navei *B* faţă de *A*, la un moment dat *t*, se determină prin măsurarea relevmentului adevărat *R* şi a distanţei d cu radarul.

Considerăm că în scopul determinării mişcării relative a navei *B* faţă de *A*, de la bordul navei *A* se fac următoarele observaţii cu radarul la nava *B* (fig 30-33):

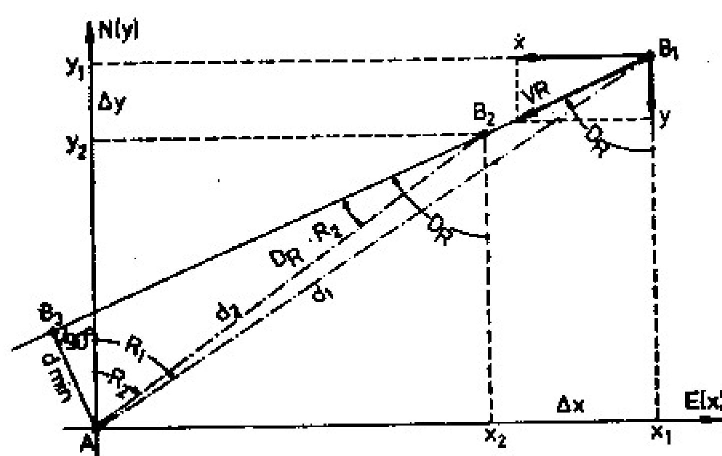


Fig. 30-33

– momentul t_1: relevment adevărat R_1, distanţa d_1;

– momentul t_2: relevment adevărat R_2, distanţa d_2.

Punctele B_1 şi B_2 reprezintă poziţiile relative ale navei *B* faţă de *A* în momentele t_1 şi t_2, determinate de elementele R_1, d_1 şi respectiv R_2, d_2. Direcţia B_1B_2 reprezintă indicatoarea mişcării relative a navei *B* faţă de *A*. Spaţiul $B_1B_2 = m_R$ exprimă spaţiul relativ parcurs de *B* faţă de *A* în intervalul de timp dintre observaţii $\Delta t = t_2 - t_1$; D_R reprezintă drumul relativ, în figura 30-33, redat la valoare cuadrantală.

Elementele mişcării relative a navei *B* faţă de *A* pot fi stabilite grafic, în modul indicat mai sus la §11 sau analitic, exprimând poziţia relativă a navei *B* la un moment dat *t* prin coordonatele carteziene:

$x = d \sin R$ .... (30-4)

$y = d \cos R$

În intervalul de timp dintre observaţii Δt, spaţiul m_R parcurs de nava *B* faţă de *A* pe indicatoarea mişcării relative determină următoarea variaţie a coordonatelor poziţiilor relative:

$\Delta x = x_1 - x_2 = m_R \sin D_R$ .... (30-5)

$\Delta y = y_1 - y_2 = m_R \cos D_R$,

care pot fi folosite la calculul vitezei de variaţie a coordonatelor:

$$\dot{x} = \frac{\Delta x}{\Delta t} 60 \text{ şi } \dot{y} = \frac{\Delta y}{\Delta t} 60 \quad \text{(30-6)}$$

Cu aceste mărimi se poate calcula spaţiul relativ m_R parcurs de ţintă în intervalul de timp Δt:

$$B_1B_2 = m_R = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2} = V_R\frac{\Delta t}{60} \quad \text{(30-7)}$$

iar viteza relativă V_R:

$$V_R = 60\ \frac{m_R}{\Delta t} = \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2} \quad \text{(30-8)}$$

Drumul relativ cuadrantal D_R se obţine din relaţia:

$$D_R = \text{arc tg}\ \frac{\Delta x}{\Delta y} = \text{arc tg}\ \frac{\dot{x}}{\dot{y}} \quad \text{(30-9)}$$

Indicatoarea mişcării relative arată că nava *B* trece la distanţa minimă $d_{min} = AB_3$ faţă de *A*, când ajunge în poziţia relativă B_2, obţinută prin coborârea perpendicularei din *A* pe drumul relativ. Distanţa minimă poate fi obţinută din triunghiul AB_2B_3, dreptunghic în B_3:

$$d_{min} = d_2 \sin (D_R - R_2) \quad \text{(30-10)}$$

Timpul t_m necesar navei *B* să ajungă din B_2 în B_3, la distanţa minimă de *A*, se obţine din relaţia:

$$t_m = \frac{B_2B_3}{V_R} = \frac{d_2}{V_R} \cos (D_R - R_2), \quad \text{(30-11)}$$

ştiind că $B_2B_3 = d_2 \cos (D_R - R_2)$.

În cazul prezentat în figura 30-33, mişcarea relativă a navei *B* faţă de *A* reprezintă o mişcare de apropiere, care plasează pe *B* la distanţa minimă d_{min} faţă de *A*. Mărimile definite mai sus, în acest caz, care exprimă mişcarea relativă a navei *B* faţă de *A*, se numesc *parametrii mişcării de apropiere*.

Mărimile m_R, d, Δ_x, Δ_y, x, y şi d_{min} se exprimă în mile marine; V_R, $\dot{x}$ şi $\dot{y}$ în noduri; Δ_t şi t_m în minute, iar R *şi* D_R în grade.

3 Criterii pentru determinarea pericolului de abordaj

Se consideră că există pericol de abordaj între două nave în situaţia în care *distanţa minimă (d_{min})* de trecere dintre ele este inferioară *distanţei de siguranţă (d_s)* la care se referă Regulamentul (regula 8 d). În rezolvarea problemelor de evitare pe baza mişcării relative, pericolul de coliziune este indicat de intersectarea drumului relativ al ţintei cu *cercul de siguranţă* având ca centru nava proprie *A* şi raza egală cu *distanţa de siguranţă* (fig. 33-35);

Criteriul acesta nu este însă unicul care defineşte situaţia pericolului de abordaj. Timpul de apropiere necesar ţintei ca să intre în *aria de siguranţă* a navei *A* prezintă de asemenea o importanţă practică deosebită pentru asigurarea condiţiilor necesare

analizării situației, luării deciziei și executării manevrei de evitare. Intervalul de timp necesar efectuării acestor operațiuni se numește *timp critic* (t_c) și se consideră egal cu 30 minute. La navele de mare tonaj, valoarea timpului critic poate fi mărită.

Astfel, analiza factorilor care concură la riscul de coliziune a condus la concluzia a două criterii pe baza cărora se poate stabili personalitatea pericolului de abordaj:

– *criteriul de distanță (p)*

$$p = \frac{d_{min}}{d_s} < 1 \qquad (30\text{-}12)$$

unde d_{min} = distanța minimă și d_s = distanța de siguranță, și

– *criteriul de timp (q)*

$$q = \frac{t_m}{t_c} < 1 \qquad (30\text{-}13)$$

în care t_m = timpul necesar țintei ca să ajungă la distanța minimă față de nava proprie și t_c = timpul critic.

Într-o situație de întâlnire dintre două nave trebuie avute în vedere ambele criterii, de distanță și timp, pentru fundamentarea deciziei privind măsurile de evitare. Astfel, de exemplu, în cazul apropierii pe un drum de coliziune cu o țintă *B* trebuie luate măsuri de evitare mai devreme decât față de o navă *C*, care se apropie cu aceeași viteză relativă ca și *B*, dar care intersectează aria de siguranță a navei *A* doar spre periferia ei. Într-un asemenea caz, considerând criteriul de timp pentru cele două ținte de valori apropiate, criteriul de distanță indică în mod evident o situație de apropiere mai periculoasă cu nava *B* decât cu *C*.

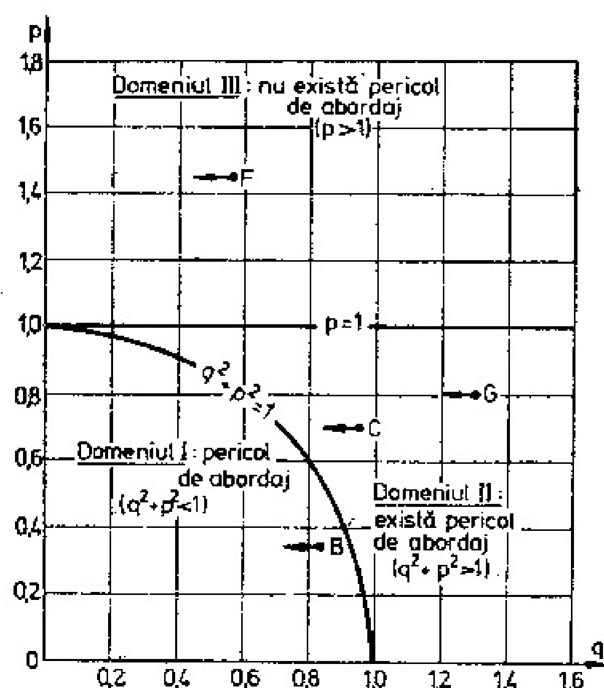


Fig. 30-34

Dependența dintre cele două criterii în analizarea situațiilor de apropiere cu mai multe ținte, la un moment dat, poate fi văzută dintr-un grafic al pericolelor de abordaj (fig. 30-34), care se construiește astfel:

– într-un sistem de axe rectangulare, se trec valorile criteriului de distanţă p pe axa ordonatelor şi cele ale criteriului de timp q pe axa absciselor;

– se trasează o dreaptă paralelă cu axa absciselor de ordonată $p = 1$ şi un cadran de cerc cu centrul în originea sistemului de rază = 1.

Construcţia grafică prezentată mai sus delimitează trei *domenii ale situaţiilor de apropiere*, pentru momentul observaţiei, astfel:

– *domeniul I*, ale cărui puncte satisfac relaţia $q^2 + p^2 < 1$, ce delimitează poziţiile navelor de valori p şi q care prezintă pericol de abordaj;

– *domeniul II*, ale cărui puncte satisfac relaţia $q^2 + p^2 > 1$, ce delimitează poziţiile ţintelor de valori p şi q care vor prezenta pericol de abordaj prin deplasarea navelor în drumuri relative de intersectare a cercului de siguranţă. Frontiera dintre domeniile I şi II, de forma unui cadran de cerc cu originea în centrul sistemului, satisface condiţia $q^2 + p^2 = 1$, respectiv $q = \sqrt{1-p^2}$;

– *domeniul III*, ale cărui puncte satisfac relaţia $p > 1$, conţine poziţiile navelor ce se menţin pe timpul apropierii în afara cercului de siguranţă, fără pericol de abordaj. Frontiera dintre domeniile II şi III, aşa cum s-a arătat prin construcţie, satisface condiţia $p = 1$.

Considerăm cele patru ţinte, *B*, *C*, *F* şi *G* din exemplul de mai jos de la §14 punctul 1 (fig. 30-35), pentru momentul observaţiei iniţiale (ora 10.00); valorile criteriului de distanţă p şi ale celui de timp q sunt următoarele:

– nava B: $p = \dfrac{0.7\,M_m}{2\,M_m} = 0.35$ şi $q = \dfrac{25^m}{30^m} = 0.83$;

– nava C: $p = 0.7$ şi $q = 0.96$;

– nava F: $p = 1.45$ şi $q = 0.56$;

– nava G: $p = 0.8$ şi $q = 1.3$.

Se trec poziţiile celor patru nave în *graficul pericolelor de abordaj* (fig. 30-34), în funcţie de valorile criteriilor p şi q şi se observă că:

– nava *B* este conţinută în domeniul I, prezintă pericol de abordaj;

– navele *C* şi *G* sunt cuprinse în domeniul II, prezintă pericol de abordaj, cu un grad de periculozitate inferior celui al navei *B*;

– nava *F* este cuprinsă în domeniul III, nu prezintă pericol de abordaj.

În cazul existenţei mai multor nave de drumuri de apropiere, se consideră, deci, ca prezentând pericol de abordaj acele ţinte care satisfac criteriul de distanţă p (formula 30-12) şi cel de timp q (formula 30-13). Între ţintele care prezintă un pericol de abordaj, în momentul observaţiei, *gradul de periculozitate* maxim este reprezentat de acea navă ce se plasează în domeniul I, la distanţa cea mai mare de frontiera dintre domeniile I şi II, respectiv cea mai apropiată de centrul sistemului (fig. 30-34), ceea ce înseamnă că valoarea:

$$k = 1 - \frac{q}{\sqrt{1-p^2}} \quad \text{...} \quad (30\text{-}14)$$

este maximă. Valoarea criteriului *gradului de periculozitate k* scade cu gradul pericolului.

Rezultă că, în cazul existenţei mai multor nave pe drumuri de apropiere ce prezintă pericol de abordaj, criteriul k indică ierarhia gradului de periculozitate şi deci ordinea de urgenţă în executarea manevrelor de evitare.

Astfel, în exemplul de mai jos de la § 14 punctul 1 (fig. 30-35), după analizarea criteriilor de distanţă şi timp, p şi q, se conclude că navele B, C şi G prezintă pericol de abordaj. Calculând valoarea coeficientului k:

– la nava B: $k = 1 - \frac{0.83}{\sqrt{1-0.35^2}} = 0.114$;

– la nava C: k = – 0.344;

– la nava G: k = – 1.167,

se observă că ierarhia gradului de periculozitate, respectiv ordinea de urgenţă pentru efectuarea manevrelor de evitare a celor trei nave este: B, C şi G.

§14 Procedee pentru determinarea pericolului de abordaj

Vechile reguli internaţionale pentru prevenirea abordajelor pe mare, anterioare Regulamentului – 1972, indicau ca măsură pentru constatarea pericolului de abordaj – verificarea variaţiei relevmentului la compas la nava ce se apropia: dacă relevmentul se menţinea constant sau prezenta o variaţie lentă, se considera că există pericol de abordaj. Analiza făcută mai sus la § 13, cât şi măsurile indicate de Regulamentul internaţional pentru prevenirea abordajelor – 1972, Regula 7 arată că variaţia relevmentelor nu este suficientă pentru a se conclude asupra existenţei pericolului de abordaj şi că de fiecare dată trebuie să se ţină seama şi de distanţa la ţintă.

Procedeele care se aplică pentru determinarea pericolului de abordaj şi a elementelor manevrei de evitare sunt funcţie de tipul instalaţiei radar din dotarea navei.

În prezent, acestea se extind de la instalaţii radar simple, care permit determinarea relevmentelor cu un cursor mecanic şi a distanţei – cu ajutorul cercurilor fixe de distanţă, până la sistemele anticoliziune, compuse dintr-un radar de înalte performanţe, conectat cu girocompasul (pentru asigurarea informaţiei de drum), cu lochul (care furnizează informaţiile de viteză), cât şi cu un calculator electronic specializat, menit să calculeze parametrii mişcărilor de apropiere a ţintelor, valorile criteriilor pericolului de abordaj şi să indice elementele manevrei/manevrelor de evitare, sau la unele instalaţii – chiar să acţioneze automat pentru efectuarea manevrei.

Eliminând din analiză pentru moment sistemul anticoliziune, în toate cazurile, procedeul aplicat trebuie să răspundă la două condiţii esenţiale:

– să permită prelucrarea informaţiilor radar cu suficientă precizie, astfel ca să se asigure succesul evitării pericolului de abordaj;

– să se asigure rapiditate în rezolvarea problemelor, astfel ca manevra de evitare să potă fi executată în timp util.

Pe puntea de comandă a unei nave maritime comerciale, personalul cu o calificare corespunzătoare rezolvării acestor probleme este limitat pe timpul unui cart, în condiţii dificile de navigaţie, de regulă la două persoane: comandantul şi ofiţerul de cart. Ca urmare, la cele arătate mai sus, se mai adaugă încă o condiţie: aplicarea procedeului să fie posibilă de către aceste două persoane (obişnuit,

comandantul, ca observator radar, iar ofiţerul de cart, ca operator la raportorul diagramă pentru rezolvarea problemelor).

În cele ce urmează, în prezentul paragraf, se prezintă procedeele de bază aplicate la bordul navelor maritime comerciale: procedeul ploting şi procedeul variaţiei relevmentului.

1 Procedeul ploting*

Determinarea pericolului de coliziune se bazează pe rezolvarea problemei de mişcare relativă pe raportorul-diagramă sau în lipsă, pe hârtie milimetrică, folosind, de regulă, trei relevmente şi distanţe succesive, luate la intervale de timp egale, de o durată astfel ca poziţiile relative ale ţintelor să aibă o variaţie suficientă. Pentru navele care prezintă pericol de abordaj, se determină apoi elementele manevrei de evitare (drumul şi/sau viteza), în modul indicat mai sus la § 11.

Experienţa aplicării acestui procedeu arată că forma de prezentare cea mai avantajoasă a imaginii radar pentru rezolvarea problemei este *în mişcare relativă faţă de direcţia nord* (vezi § 12). În acest mod, relevmentele obţinute sunt relevmente girocompas care se măsoară de preferinţă cu cursorul electronic. În cazul folosirii cursorului mecanic, se impune o atenţie deosebită pentru centrarea imaginii radar.

În scopul explicării modului de aplicare a procedeului ploting, considerăm că nava *A* merge în $D_A = 35°$, $V_A = 12$ Nd, distanţa de siguranţă $d_s = 2$ Mm (fig. 30-35). La intervale de timp egale, de o durată astfel încât spoturile de pe ecran ale ţintelor să aibă o variaţie suficientă, se măsoară trei relevmente şi distanţe succesive la ţintele care se află pe drumuri de apropiere, *B, C, F* şi *G;* datele observaţiilor şi rezultatele analizei pericolului de abordaj sunt următoarele:

Observaţii radar				Rezultatele analizei							
Nava	Ora h m	*R* (grade)	*d* (Mm)	D_R (grade)	V_R (Nd)	d_{min} (Mm)	m_{min} (Mm)	t_m (m)	p	q	k
B	10.00 10.03 10.06	63.5 63.0 62.0	9.1 8.0 7.9	248	22	0.7	9.0	25	0.35	0.83	0.114
C	10.00 10.03 10.06	19.5 20.5 22.0	8.8 7.9 7.9	190	18	1.4	8.7	29	0.7	0.96	–0.344
F	10.00 10.03 10.06	356.0 352.0 346.5	8.0 6.8 5.7	197	26	2.9	7.4	17	1.45	0.56	–
G	10.00 10.03 10.06	327.5 326.5 325.5	9.1 8.4 7.8	157.5	14	1.6	9.0	39	0.8	1.3	–1.167

* De la *plotting method,* în limba engleză, denumire însuşită în prezent în majoritatea limbilor maritime; în româneşte, procedeul era definit prin expresia „determinarea pericolului de coliziune şi a elementelor manevrei de evitare prin relevmente şi distanţe succesive măsurate cu radarul."

Pentru determinarea pericolului de abordaj și a ordinei de urgență în executarea manevrelor de evitare, se procedează astfel:

– se trasează pe raportorul-diagramă drumul navei proprii (D_A = 35°) și cercul de siguranță cu centrul în A, de o rază egală cu distanța de siguranță (d_s = 2 Mm);

– se trec pozițiile relative B_1, B_2, B_3 – C_1, C_2, C_3 etc. ... pe raportorul-diagramă, în raport cu poziția navei proprii A, funcție de relevmentele și distanțele măsurate la navele B, C, F și G;

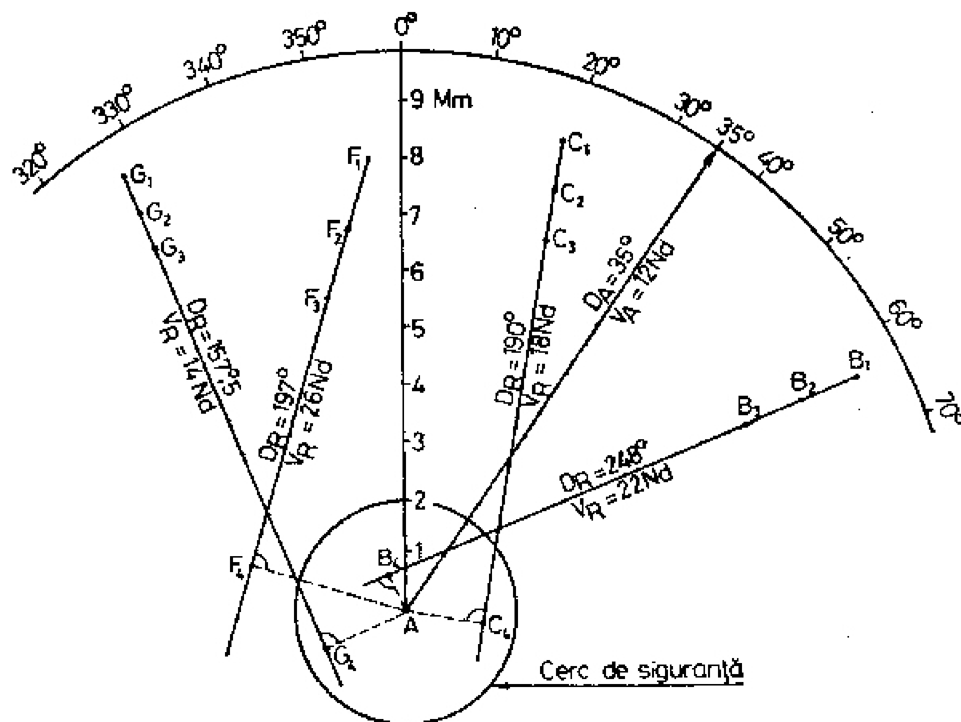


Fig. 30-35

– se unesc pozițiile relative de același nume, B_1, B_2, B_3 – C_1, C_2, C_3 etc. și se obțin drumurile relative D_R ale țintelor observate, B, C, F și G față de nava A. Intersectarea cercului de siguranță de către drumul relativ al unei ținte indică satisfacerea criteriului de distanță p (formula 30-12). Figura 30-35 arată că în exemplul dat, țintele B, C și G prezintă pericol de abordaj, iar ținta F nu prezintă un asemenea pericol;

– se determină distanțele minime d_{min} la care trec țintele față de nava proprie, prin coborârea perpendicularelor din A pe drumurile relative (vezi §11). Picioarele perpendicularelor B_4, C_4, F_4 și G_4 reprezintă pozițiile relative ale țintelor în momentele trecerii lor la distanța minimă față de A. Lungimea perpendicularelor AB_4, AC_4, AF_4 și AG_4 reprezintă distanțele minime;

– se măsoară distanțele de parcurs m_{min} între pozițiile inițiale și cele în care țintele ajung la distanța minimă față de A, reprezentate de segmentele B_1B_4, C_1C_4, F_1F_4 și G_1G_4;

– se calculează timpul t_m necesar apropierii țintelor la distanța minimă de A, raportând distanțele de apropiere m_{min} la vitezele relative V_R ale țintelor;

– se calculează valorile criteriilor de distanță p (formula 30-12) și de timp q (relația 30-13). Valorile acestora, trecute în graficul pericolelor de abordaj (fig. 30-34) arată că: ținta B, conținută în domeniul I, prezintă pericol de abordaj; țintele

C și *G*, cuprinse în domeniul II, vor prezenta pericol de coliziune; ținta *F*, din domeniul III, nu prezintă pericol de abordaj;

– calculul criteriului gradului de periculozitate *k* arată că ordinea de urgență pentru efectuarea manevrelor de evitare ale celor trei ținte este: *B*, *C* și *G*.

Calculul elementelor manevrei de evitare se face în modul indicat la § 11.

Cele arătate mai sus reprezintă analiza și operațiunile complete ale procedeului ploting. Antrenamentul perseverent și metodic în rezolvarea acestor probleme, cu facilitățile oferite de folosirea raportorului-diagramă și a calculatorului electronic, de orice fel, pentru operațiunile de calcul (valoarea criteriilor *p*, *q*, *k* etc. ...) asigură rezolvarea datelor necesare într-un timp acceptabil cerințelor practice, considerând că detectarea țintelor se face la o distanță suficient de mare.

În practica aplicării procedeului sunt multe situații însă când numai o parte din operațiunile enumerate, de regulă cele care determină mișcările relative, distanțele minime și elementele de evitare, se dovedesc ca suficiente pentru luarea deciziei și executarea manevrei.

2 Procedeul variației relevmentului

Procedeul oferă posibilitatea unei determinări expeditive a distanței minime la care trece ținta, din variația relevmentului la apropierea acesteia cu 1 sau 2 Mm, prin folosirea unor nomograme construite în acest scop.

Pentru explicarea procedeului, considerăm că în momentul în care ținta *H*, în mișcarea de apropiere față de *A*, pe ecranul radar se plasează pe cercul fix al distanței de 10 Mm, se citește $R_1 = 63°$(fig. 30-36). Se urmărește deplasarea țintei pe ecran și

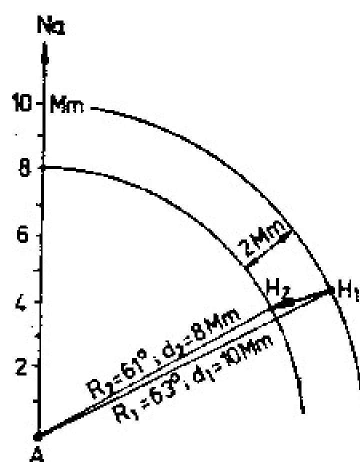


Fig. 30-36

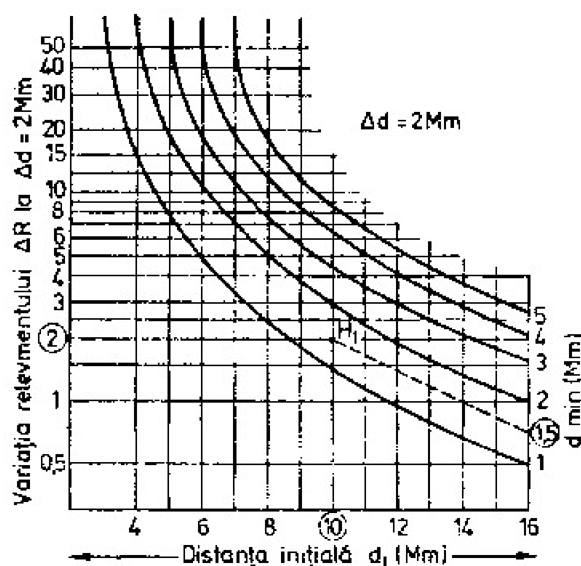


Fig. 30-37

în momentul în care acesta intersectează cercul fix al distanței de 8 Mm, se citește $R_2 = 61°$. La apropierea $\Delta_d = 10 - 8 = 2$ Mm a navei, deci, variația relevmentului $\Delta R = 63° - 61° = 2°$.

Nomograma din figura 30-37 dă distanța minimă, pe scala din dreapta („d_{min}"), intrându-se cu variația relevmentului ΔR (în grade) la apropierea $\Delta d = 2$ Mm a

ţintei, ca argument vertical şi cu distanţa iniţială d_1 (în Mm), ca argument orizontal.

În exemplul dat, deci, se intră în nomogramă cu variaţia relevmentului $\Delta R = 2°$, ca argument vertical şi cu distanţa iniţială la ţintă $d_1 = 10$ Mm, ca argument orizontal, la intersecţia cărora se obţine punctul H_1. Prin interpolare între curbele distanţelor

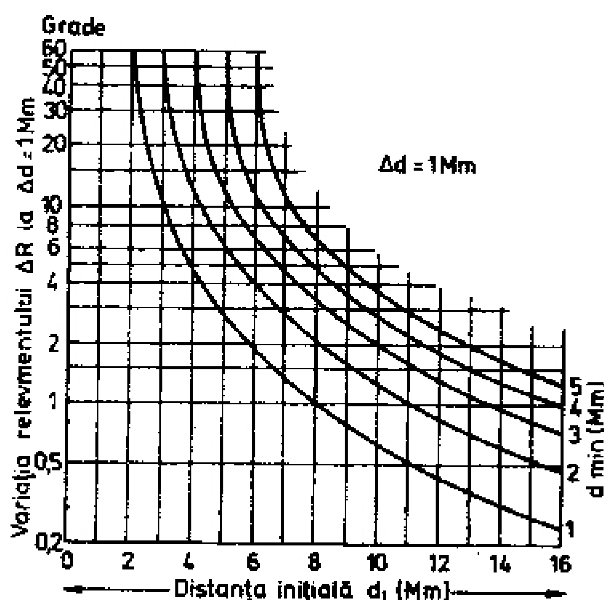


Fig. 30-38

minime de 1 Mm şi 2 Mm (între care este cuprins punctul H_1), se determină distanţa minimă $d_{min} = 1.5$ Mm, la care trece nava H faţă de A.

Procedeul dă posibilitatea de a determina, deci, distanţa minimă la care trece ţinta faţă de nava proprie, din variaţia relevmentului ΔR la apropierea ţintei $\Delta d = 2$ Mm, printr-o simplă intrare în nomogramă cu argumentele ΔR şi distanţa iniţială d_I, la ţintă.

Dacă variaţia relevmentului ΔR se stabileşte la apropierea ţintei Δd de 1 Mm, se foloseşte în mod similar nomograma din figura 30-38.

În cazul în care distanţa minimă astfel determinată este mai mică decât distanţa de siguranţă, se procedează la determinarea elementelor manevrei de evitare, în modul indicat la § 11.

§15 Practica folosirii radarului la evitarea abordajului

1 La larg

În condiţiile de vizibilitate redusă, conducerea navei se bazează pe veghea cu radarul, pe scala de 12-16 Mm, funcţie de tipul instalaţiei, distanţe la care ecourile navelor apar pe ecran, astfel ca să se dispună de timp suficient pentru determinarea pericolului de abordaj şi a elementelor manevrei de evitare. Forma de prezentare a imaginii radar *în mişcare relativă faţă de direcţia nord* oferă avantaje evidente la rezolvarea acestor probleme.

Eficienţa aplicării procedeului ploting, procedeul de bază folosit la prelucrarea informaţiilor radar şi executarea manevrei de evitare, depinde de circumstanţe

(numărul țintelor, drumurile urmate, dacă navele își mențin drumul și viteza etc.) și în măsură hotărâtoare de pregătirea și experiența celor ce concură la realizarea lui: observatorul radar și operatorul de la raportorul-diagramă.

De îndată ce apare spotul unei nave pe ecran, se procedează la măsurarea, de regulă, a trei relevmente și distanțe succesive, care se trec pe raportorul-diagramă și se determină parametrii mișcării de apropiere. Folosirea a trei observații, la intervale de timp egale, oferă posibilitatea controlului preciziei lor; considerând că ținta nu și-a schimbat drumul și viteza, cele trei poziții relative obținute din observațiile efectuate sunt situate pe o dreaptă care determină indicatoarea mișcării relative, iar spațiile ce le separă sunt egale, reprezentând spațiul relativ parcurs între momentele măsurătorilor.

În cazul existenței mai multor nave în zona de navigație, ordinea de urgență în executarea observațiilor, analizarea pericolului de coliziune și stabilirea soluțiilor de evitare prezintă un interes deosebit. Ordinea de urgență în efectuarea acestor operațiuni, stabilită pe baza observării spoturilor de pe ecran, este următoarea: nave care se apropie la relevment constant sau cu o variație lentă de relevment, cu o viteză relativă de apropiere mare, din sectorul prova sau dinaintea traversului. În cazul în care nava proprie merge cu viteză redusă, prezintă interes și navele aflate în sectorul pupa și înapoia traversului.

O analiză completă a pericolului de abordaj cu mai multe nave, prin calculul parametrilor mișcărilor de apropiere, este considerabil facilitată de utilizarea calculatorului electronic, asigurând rapiditate și precizie în rezolvarea problemelor.

Regulamentul internațional pentru prevenirea abordajelor pe mare – 1972, Regula 8 *(b)* prevede că „Orice schimbare de drum sau de viteză sau amândouă deodată, în scopul evitării unui abordaj, trebuie, dacă împrejurările permit, *să fie destul de mare pentru a putea fi percepută imediat de orice navă care o observă vizual sau cu radarul;* trebuie evitate schimbările succesive de mică importanță, de drum, de viteză sau ale ambelor concomitent." Pentru ca variația elementelor de manevră ale navei proprii, drumul și/sau viteza, în scopul executării evitării, să poată fi observată în timp util pe ecranul radar al celorlalte nave față de care se manevrează, experiența arată că amploarea acestora este favorabilă la valori – de cel puțin 30°, în cazul evitării prin schimbarea drumului și de 50% din viteză, dacă se procedează prin reducerea vitezei.

De asemenea, se impune ca manevra de evitare să fie inițiată cât mai devreme posibil și, în continuare, să se observe cu atenție efectele ei, prin procedeul ploting, până când ținta depășește apropierea la distanța minimă și deci pericolul de abordaj este complet evitat. În mod normal, după detectarea țintei, manevra de evitare se inițiază imediat după efectuarea celor trei observații la aceasta și rezolvarea problemei determinării pericolului de abordaj, cât și a elementelor manevrei de evitare. Practic, limita la care trebuie inițiată manevra de evitare se consideră jumătatea distanței la care ținta a fost detectată.

La navele mici și, în general, la navele cu instalații radar care funcționează numai cu cercuri fixe de distanță, aplicarea procedeului variației relevmentului, cu folosirea nomogramelor pentru determinarea distanței minime (fig. 30-37 și fig. 30-38) dă rezultate satisfăcătoare.

În situaţiile de incertitudine asupra existenţei pericolului de abordaj, trebuie luată în atenţie deosebită Regula *7(a)*: „... Dacă există îndoială în ceea ce priveşte pericolul de abordaj, *trebuie să se considere că acest pericol există*" şi într-un asemenea caz, se va proceda la luarea măsurilor de prevenire impuse de situaţie.

În condiţiile de vizibilitate normală, la larg, îndeosebi în zonele cu trafic intens şi în cazul întâlnirilor pe drumuri convergente, informaţiile radar pot aduce servicii preţioase siguranţei navigaţiei, prin rezolvarea de timp a problemelor de determinare a pericolului de abordaj, a ordinii de urgenţă în luarea măsurilor de prevenire şi a elementelor manevrei de evitare, când navele se află încă la distanţe suficient de mari. Importanţa unor asemenea servicii creşte considerabil pe timpul nopţii, la toate tipurile de nave şi la navele de mare tonaj, atât noaptea cât şi ziua.

2 În zona costieră

În apropierea coastei, în condiţii de vizibilitate redusă, alegerea soluţiilor pentru executarea manevrei de evitare poate fi influenţată şi de considerente de ordin hidrografic (zone de adâncime redusă, pericole de navigaţie).

Pentru identificarea navelor far şi a navelor ancorate, forma de prezentare a imaginii radar cea mai avantajoasă este *în mişcare reală faţă de direcţia nord,* când acestea sunt reprezentate ca spoturi staţionare, cu forma caracteristică pentru nave (uşor de recunoscut de către un observator radar cu un antrenament mediu).

În cazul folosirii formei de prezentare a imaginii radar *în mişcare relativă faţă de direcţia nord,* navele ancorate şi navele far aflate în prova sau aproape în prova, sunt reprezentate prin spoturi de forme caracteristice pentru nave, ce determină o mişcare relativă egală şi de sens contrar cu mişcarea reală a navei proprii, uşor de identificat după *coada ţintei.*

În acelaşi mod se face şi identificarea pilotinelor, în cazul apropierii pentru ambarcarea pilotului.

În navigaţia costieră, radarul poate aduce servicii foarte utile în condiţii de vizibilitate normală, mai ales pe timpul nopţii şi, în special, în zonele unde drumurile navelor converg spre locuri obligatorii de trecere (intrări în strâmtori, pe râuri, puncte de ambarcare a piloţilor etc.).

Când se navigă în apropierea unui banc de ceaţă, se recomandă menţinerea radarului în funcţie pentru prevenirea pericolului de abordaj cu navele care pot ieşi din zona de vizibilitate redusă.

În situaţiile în care se constată ca posibilă o reducere a vizibilităţii, pe baza observaţiilor efectuate sau a apropierii de un banc de ceaţă, instalaţia radar se menţine în *stare de pregătire (stand-by).*

3 În ape înguste

În strâmtori, canale balizate etc., distanţele de siguranţă la care se evită navele sunt incomparabil mai mici şi drumurile se schimbă frecvent, astfel că, în condiţiile de vizibilitate redusă, evitarea se bazează în exclusivitate pe veghea radar, obser-

vatorului solicitându-i-se un antrenament deosebit în interpretarea corectă și rapidă a imaginii.

Caracteristic navigației în ape înguste este de asemenea faptul că drumurile navelor sunt de regulă paralele sau aproape paralele, în sensuri opuse sau de același sens, care impun doar manevre de *încrucișare* sau *depășiri.*

Forma de prezentare radar cea mai indicată de folosit este *în mișcare reală față de direcția nord*, care oferă posibilitatea unei identificări ușoare a geamandurilor, navelor ancorate etc., ca spoturi staționare. În cazul în care instalația de la bord nu poate fi utilizată astfel, funcționarea în *mișcare relativă față de direcția nord* sau *față de linia prova* permite identificarea geamandurilor sau a navelor ancorate în modul indicat mai sus la punctul 2, ținând seama că asemenea ținte, aflate în prova sau aproape în prova, determină spoturi de o mișcare relativă egală și de sens contrar cu mișcarea reală a navei proprii, ușor de recunoscut după *coada țintei.*

Pentru navele de mișcare, observarea atentă a *coadei țintei* poate să constituie un indiciu foarte prețios pentru stabilirea mișcării acestora în raport de nava proprie, ținându-se seama cu atenție de forma de prezentare a imaginii radar.

Pe vizibilitate normală, îndeosebi pe timpul nopții, radarul este un excepțional sfătuitor privind manevrele de executat și ordinea de urgență, când două sau mai multe nave impun o asemenea acțiune, pe baza informațiilor de distanță și relevment.

§16 Sistemul anticoliziune. Principii

1 Principiul sistemului

La bordul navelor de mare tonaj și, mai ales, la tancurile petroliere, la cele cu viteză mare (nave de pasageri, port-containere, port-baraje etc.), în condiții de trafic intens și vizibilitate redusă, problema evitării pericolului de coliziune capătă dimensiunile unei răspunderi deosebite, la care aplicarea procedeului ploting nu asigură o soluție satisfăcătoare în toate situațiile.

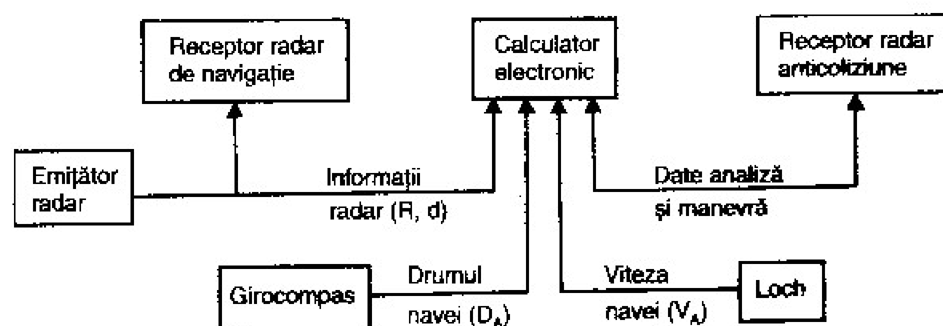


Fig. 30-39

Soluția care satisface în cea mai mare măsură exigențele siguranței împotriva pericolului de abordaj este oferită în prezent de sistemul anticoliziune *(anti-collision system* sau *collision-avoidance system),* realizat în modul indicat de diagrama din figura 30-39, prin interconectarea instalației radar, a girocompasului și lochului, cu un calculator electronic specializat. Radarul asigură informațiile de poziție relativă a

ţintelor, girocompasul şi lochul furnizează datele de drum şi respectiv de viteză ale navei proprii, pe care calculatorul electronic le prelucrează şi determină:

– mişcarea relativă a ţintelor faţă de nava proprie şi pericolul de abordaj, cu afişarea rezultatelor analizei la indicatorul receptorului anticoliziune, folosind simboluri ce diferă funcţie de tipul instalaţiei. Sistemul oferă posibilitatea selecţionării ţintelor analizate, limitate la cele aflate în sectoarele considerate periculoase în raport cu drumul navei proprii;

– drumul şi viteza ţintelor;

– drumul şi/sau viteza navei proprii pentru evitarea ţintelor care prezintă pericol de abordaj. Sistemul ţine la zi situaţia din zona bătăii radarului, funcţie de schimbarea elementelor de mişcare ale navei proprii şi ale ţintelor, asigurând semnale de alarmă acustică şi vizuale pentru condiţiile de pericol de abordaj.

Soluţionarea problemelor şi afişarea rezultatelor ce interesează stabilirea pericolului de abordaj, precum şi a elementelor manevrei de evitare pentru o anumită ţintă se efectuează pe etape, succesiv, principalele fiind următoarele:

– detectarea ţintei pe baza informaţiilor radar (relevmente şi distanţe), măsurate manual sau automat;

– determinarea mişcării relative a ţintei faţă de nava proprie, cu afişarea elementelor principale – drumul şi viteza relativă, D_R şi V_R, distanţa minimă d_{min}, precum şi timpul t_m necesar ţintei ca să ajungă la distanţa minimă;

– analiza pericolului de abordaj pe baza datelor mişcării relative a ţintei faţă de nava proprie, efectuată de calculator, precum şi a distanţei de siguranţă d_s şi a timpului critic t_c, introduse de operator;

– determinarea drumului şi a vitezei ţintei;

– determinarea elementelor manevrei de evitare, în cazul existenţei pericolului de abordaj, prin selectare de către operator, astfel ca indicatoarea mişcării relative realizată prin schimbarea drumului şi/sau a vitezei navei proprii să fie tangentă sau exterioară cercului de siguranţă de rază d_s.

Afişarea rezultatelor analizei pe ecranul receptorului anticoliziune se face folosind anumite simboluri, proprii fiecărui tip de instalaţie (fig. 30-34), cu care operatorul trebuie să se familiarizeze. Mişcarea reală a navei proprii şi a ţintei, precum şi cea relativă a ţintei faţă de nava proprie, funcţie de forma de prezentare a imaginii radar, sunt redate pe ecran prin aşa-numiţii *vectori (vectors)*, reprezentanţi prin segmente cu o iluminare de culoare distinctă având originea în spotul navei proprii, respectiv a ţintei şi de o lungime egală cu spaţiul parcurs într-un anumit interval de timp (fig. 30-34). Funcţie de tipul instalaţiei, acest interval de timp este constant (de regulă 6 minute) sau este reglabil (cu scalele de 6 minute, 15 sau 30 minute).

Receptoarele radar anticoliziune folosesc două forme de prezentare a imaginii radar:

– *prezentarea în mişcare reală (true speed vector presentation)*, în care *vectorii* afişaţi redau mişcarea reală a navelor;

– *prezentarea în mişcare relativă (relative speed vector presentation)*, în care *vectorii* afişaţi redau mişcarea relativă a ţintelor faţă de nava proprie.

Pentru ambele cazuri, imaginea radar poate fi redată în două moduri:

– *faţă de direcţia nord (north-up)*, adică cu nordul la gradaţia zero a cercului azimutual exterios ecranului şi cu *linia prova* la o gradaţie egală cu drumul navei proprii;

– *faţă de drumul navei proprii (nort-stabilized course-up)*, având *linia prova* la gradaţia zero a cercului azimutual exterior ecranului.

Analiza pericolului de abordaj față de mai multe ținte, într-un moment t_i, considerând distanța de siguranță d_s și timpul critic t_c introduse de către operator, este efectuată de calculator prin rezolvarea ecuațiilor parametrilor mișcărilor de apropiere a țintelor (vezi § 14), pe baza schemei de calcul din figura 30-40.

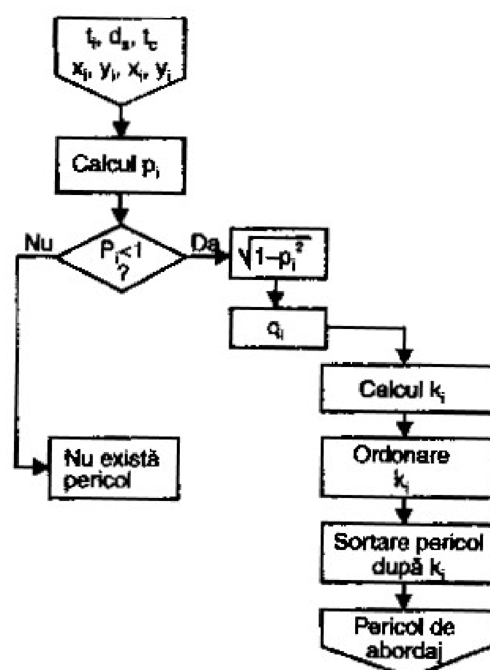


Fig. 30-40

Figura 30-41 ilustrează interpretarea cinematică a rezolvării problemelor de pericol de abordaj și determinarea elementelor manevrei de evitare de către calculatorul electronic al sistemului anticoliziune; pentru simplificare, drumurile și relevmentele sunt prezentate în sistem cuadrantal.

Nava B se află în relevmentul R la distanța d de nava proprie A. Din relevmentele și distanțele succesive măsurate cu radarul, manual sau automat, precum și din informațiile de drum D_A de la girocompas și cele de viteză V_A de la loch, calculatorul electronic determină drumul relativ D_R și viteza relativă V_R a navei B față de A. Considerând că distanța de siguranță introdusă de operator este d_s, receptorul anticoliziune (reglat pentru *prezentarea în mișcare relativă*) indică existența pericolului de abordaj, prin faptul că direcția *vectorului* mișcării relative intersectează cercul de siguranță, deci distanța minimă $d_{min} < d_s$. Timpul t_m necesar țintei ca să ajungă la distanța minimă în B_2 este dat de raportul $\frac{BB_2}{V_R}$.

Drumul D_B și viteza V_B ale țintei, necesare ulterior pentru calculul elementelor manevrei de evitare, sunt determinate de calculator din relația $V_B = V_R + V_A$, prin rezolvarea triunghiului vitezelor BB_1P (în care $V_A = \overrightarrow{B_1P}$).

Operatorul procedează apoi la *simularea* (selectarea) manevrei de evitare, în vederea determinării elementelor manevrei, prin schimbarea drumului de mărimea ΔD_A sau reducerea vitezei cu ΔD_A. Operațiunea se efectuează prin tatonare la receptorul anticoliziune, deplasând *vectorul* mișcării relative prin acționarea comenzilor ΔD_A și/sau ΔV_A până când direcția acestuia ajunge tangentă sau exterioară cercului de siguranță.

Considerăm că s-a decis manevra de evitare ce realizează indicatoarea mişcării relative BQ, de drum relativ D'_R, care va asigura trecerea la distanţa minimă $d'_{min} = AB_5$ a navei B faţă de A. Drumul relativ D_R selectat de operator face posibilă executarea manevrei de evitare prin două soluţii:

– *evitarea prin schimbarea drumului* cu mărimea ΔD_A, în $D'_A = D_A + \Delta D_A$ şi menţinerea vitezei V_A. Viteza relativă în acest caz este $V'_R = V_B - V_A$, obţinută prin

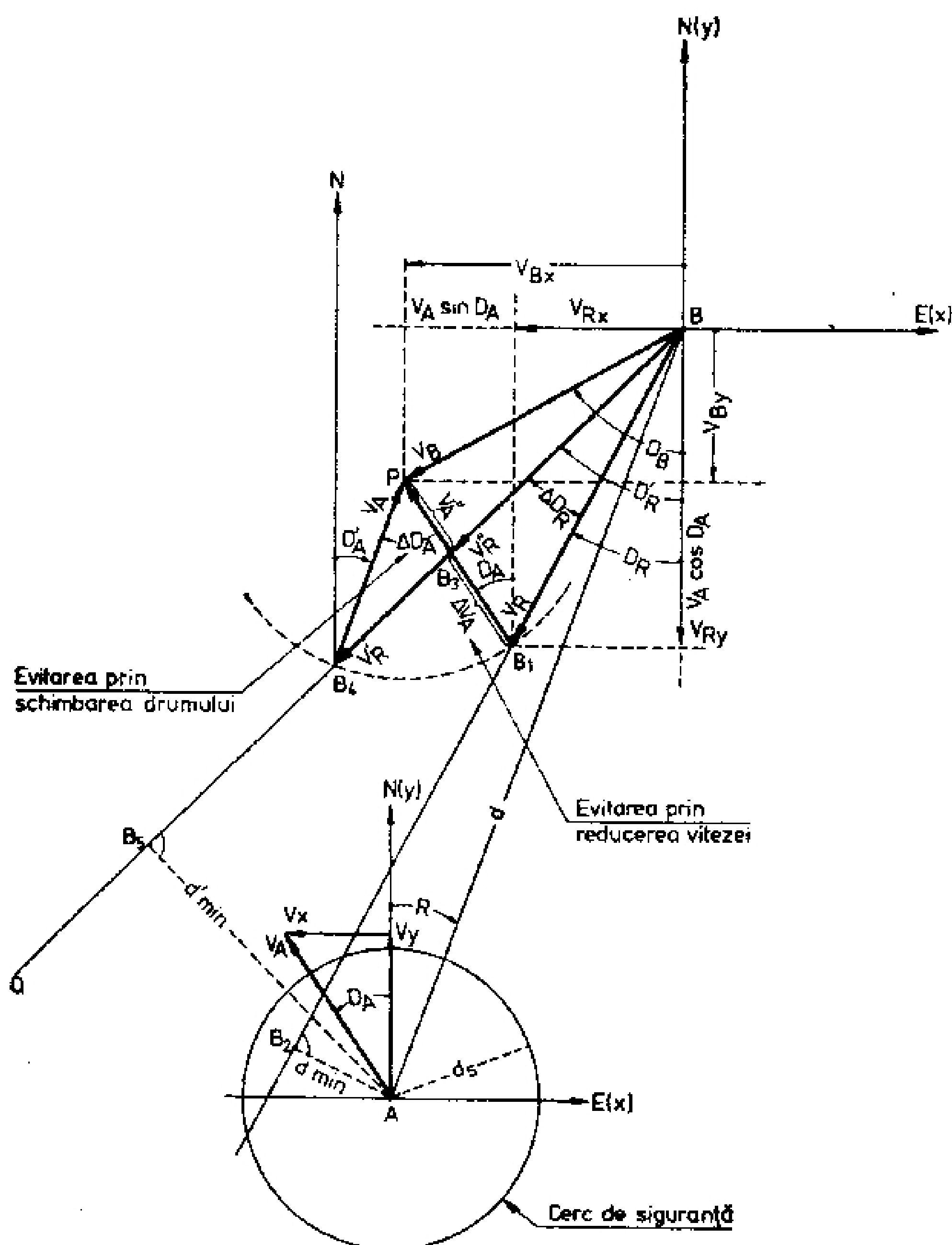


Fig. 30-41

rezolvarea triunghiului vitezelor BB_4P, iar timpul t'_m necesar ţintei ca să ajungă la distanţa minimă în B_5 este $\frac{BB_5}{V'_R}$;

– *evitarea prin reducerea vitezei* cu mărimea $\Delta V_A = \overrightarrow{B_1B_3}$, mergând deci cu viteza $V''_A = \overrightarrow{B_3P} = V_A - \Delta V_A$ și menținând drumul D_A. Viteza relativă în acest caz este $V''_R = V_B - V''_A$, obținută prin rezolvarea triunghiului vitezelor BB_3P, iar timpul t''_m necesar țintei ca să ajungă la distanța minimă în B_5 este $\frac{BB_5}{V''_R}$.

La majoritatea instalațiilor existente în prezent, operatorul este acela care selectează soluția și acționează pentru executarea manevrei, prin schimbarea drumului sau reducerea vitezei. În cazul analizat, dacă alte considerente nu o fac inaplicabilă, manevra cea mai favorabilă este prin schimbarea drumului cu ΔD_A, deoarece $t'_m < t''_m$. Există însă instalații complet automatizate, la care decizia este luată de calculator, pe baza unei analize complete a situației de manevră a unui număr de până la 72 ținte, iar manevra este ordonată de acesta la giropilot – pentru schimbarea drumului sau respectiv la mașina principală – pentru reducerea vitezei și urmărită în continuare până la finalizarea execuției, realizarea deosebit de valoroasă în zonele cu trafic intens.

Pentru determinarea diferitelor elemente de mișcare, în situația prezentată în figura 30-41, în vederea stabilirii soluțiilor de manevră, calculatorul rezolvă următoarele ecuații, stabilite prin proiectarea vectorilor triunghiurilor de viteză pe axele rectangulare determinate de liniile *N – S (yy')* și *E – W (xx')*:

$$V_{Rx} = V_R \sin D_R \quad \text{(30-15)}$$

$$V_{Ry} = V_R \cos D_R \quad \text{(30-16)}$$

unde V_{Rx} și V_{Ry} reprezintă proiecțiile vectorului V_R al mișcării relative pe cele două axe de coordonate;

$$V_R = \sqrt{(V_{Rx})^2 + (V_{Ry})^2} \quad \text{(30-17)}$$

$$D_R = \text{arc tg}\,\frac{V_{Rx}}{V_{Ry}} \quad \text{(30-18)}$$

$$V_B = \sqrt{(V_{Rx} + V_A \sin D_A)^2 + (V_{Ry} - V_A \cos D_A)^2} \quad \text{(30-19)}$$

$$D_B = \text{tg}\,\frac{V_{Rx} + V_A \sin D_A}{V_{Ry} - V_A \cos D_A} \quad \text{(30-20)}$$

$$V'_R = \sqrt{V_B \sin D_B + V_A \sin D'_A)^2 + (V_B \cos D_B + V_A \cos D'_A)^2} \quad \text{(30-21)}$$

în cazul manevrei de evitare prin schimbarea drumului, din D_A în D'_A și menținerea vitezei V_A;

$$D'_R = \text{arc tg}\,\frac{V_B \sin D_B + V_A \sin D'_A}{V_B \cos D_B + V \cos D'_A} \quad \text{(30-22)}$$

$$V''_R = \sqrt{(V_B \sin D_B - V'_A \sin D_A)^2 + (V_B \cos D_B + V'_A \cos D_A)^2} \quad \text{(30-23)}$$

în cazul manevrei de evitare prin reducerea vitezei cu mărimea ΔV_A, mergând în drumul D_A cu viteza V''_A;

$$D'_R = \text{arc tg}\,\frac{V_B \sin D_B - V''_A \sin D_A}{V_B \cos D_B + V''_A \cos D_A} \qquad (30\text{-}24)$$

2 Câteva cuvinte despre sistemul anticoliziune SDL – 1 000

Sistemul *SDL* – 1000* funcționează pe baza schemei prezentată în figura 30-42. În sistem anticoliziune, instalația lucrează în scalele de 3, 6, 12 și 24 Mm. Detectarea navelor se asigură până la distanța de 16 Mm, automat sau manual.

Mărimea *vectorilor* de mișcare reală sau relativă este reglabilă, corespunzătoare timpului de 6, 15 sau 30 minute.

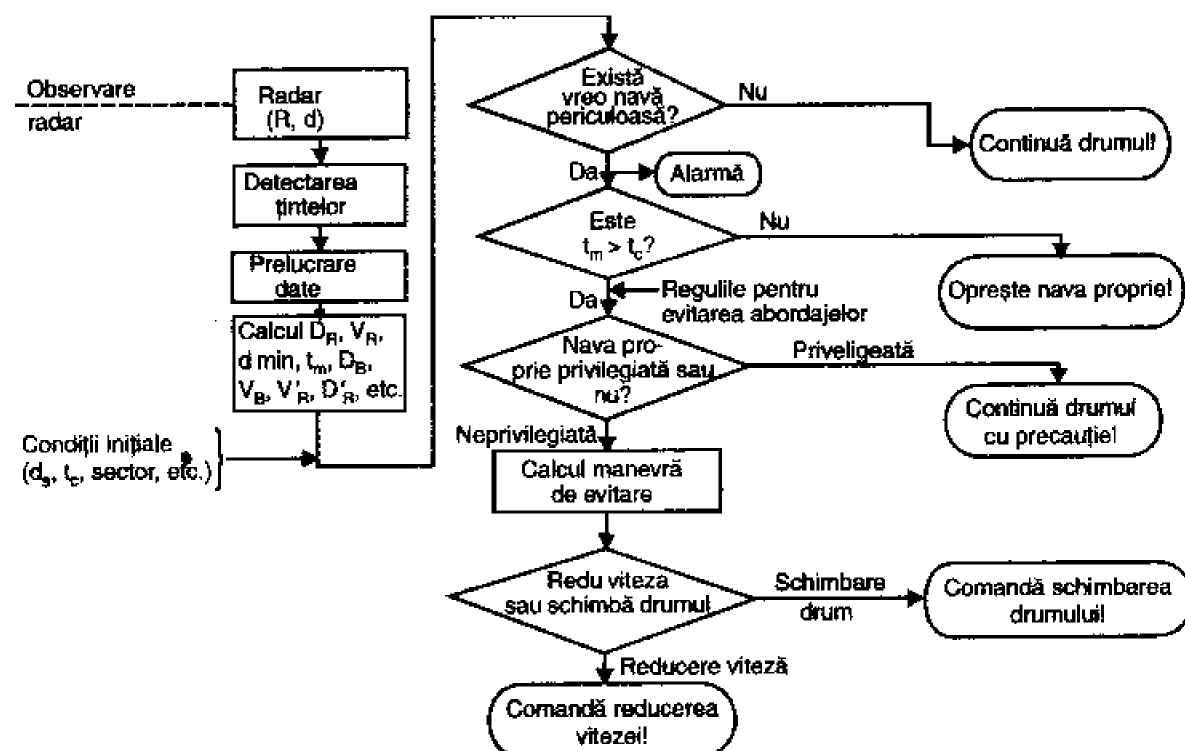


Fig. 30-42

Asigură analiza pericolului de abordaj și prelucrarea datelor de manevră pentru maximum 10 ținte.

Prelucrarea informațiilor radar în scop anticoliziune se face pe întreg orizontul sau se poate limita la următoarele sectoare: 90° în prova (câte 45° în fiecare bord, ca în figura 30-43) sau 180°, de la travers spre prova.

Precizia determinării drumurilor este de ± 3°, iar a vitezelor de ± 5%. Rezolvă problemele manevrei de evitare pentru viteza până la 30 Nd și schimbări de drumuri ΔD_A de la zero la 50°. Simbolurile folosite pe ecranul receptorului anticoliziune sunt cele indicate în figura 30-43.

* Realizat de Japan Radio Co.

Expresia *țintă pierdută (lost target)*, din limbajul sistemului anticoliziune, menționată din figura 30-43, indică o navă care a fost supusă procesului de analiză, al cărei spot dispare însă la un moment dat sau este prezentat foarte slab, dintr-o cauză oarecare (ex: se interpune o navă mai mare pe direcția de propagare a fasciculului radar, datorită ecourilor parazite produse de valuri etc.). Într-o asemenea situație, *vectorul* țintei respective continuă să mai fie prezentat pe ecran sub forma unei linii punctate, timp de 40 secunde și se dă alarma.

Sistemul de alarmă pentru țintele care prezintă pericol de abordaj și cele *pierdute* este asigurat vizual, printr-un semnal luminos continuu și sonor, prin buzer. În cazul unui pericol imediat, semnalul luminos este intermitent.

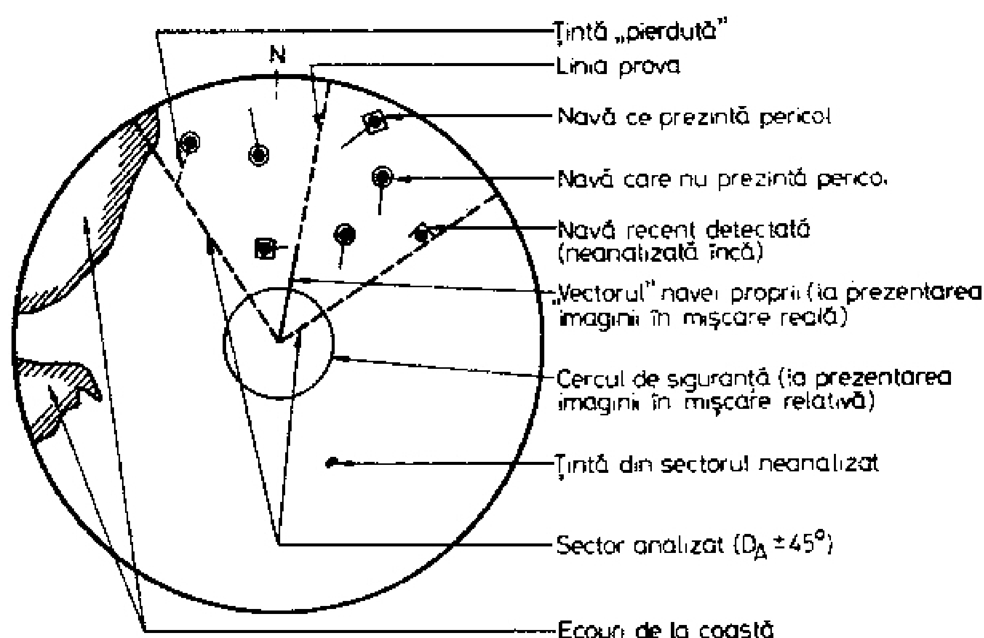


Fig. 30-43

3 Câteva cuvinte despre sistemul anticoliziune SPERRY

Sistemul SPERRY este capabil să facă analiza pericolului de coliziune pentru un număr total de 40 ținte.

Linia prova este prezentată ca o dreaptă întreruptă, fiecare segment ce o compune reprezentând spațiul parcurs de nava proprie în timp de 6 minute. Lungimea acestor segmente variază deci funcție de viteza navei (fig. 30-44), *linia prova* putând fi folosită astfel ca *bază de timp.*

La detectarea unei ținte, prezentarea pe ecran se face printr-un spot obișnuit, specific pentru nave. În momentul în care ținta începe să fie supusă analizei calculatorului, spotul ce o reprezintă apare încadrat între două linii („sprâncene"). În timpul următoarelor 8 rotații ale antenei radarului, calculatorul determină drumul și viteza țintei, pe care le redă pe ecran printr-un *vector* având originea în spotul ce o reprezintă, mărimea egală cu spațiul parcurs în timp de 6 minute și vârful în direcția în care se deplasează.

În timpul următoarelor 30 rotații ale antenei radarului, calculatorul face analiza pericolului de coliziune, după care redă pe ecran o elipsă ce închide *zona pericu-*

loasă, având centrul în punctul de impact de pe drumul țintei. Dacă *linia prova* a navei proprii intersectează *zona periculoasă* a țintei, închisă de elipsă, înseamnă că există pericol de abordaj. În situația prezentată în figura 30-44, punctul de intersecție dintre *linia prova* și elipsa ce delimitează *zona periculoasă* arată că, în cazul în care și-ar menține drumurile și vitezele, ele s-ar afla la distanța periculoasă după aproximativ 18 minute (știind că un segment, reprezintă distanța parcursă de nava proprie în 6 minute).

Selectarea drumului de evitare se face prin rotirea cursorului electronic, de către operator, într-o direcție în care acesta să nu intersecteze zonele periculoase ale țintelor și ținând seama de prevederile Regulamentului internațional pentru prevenirea abordajelor pe mare. Valoarea unghiulară determinată de orientarea astfel aleasă a cursorului electronic reprezintă drumul de evitare.

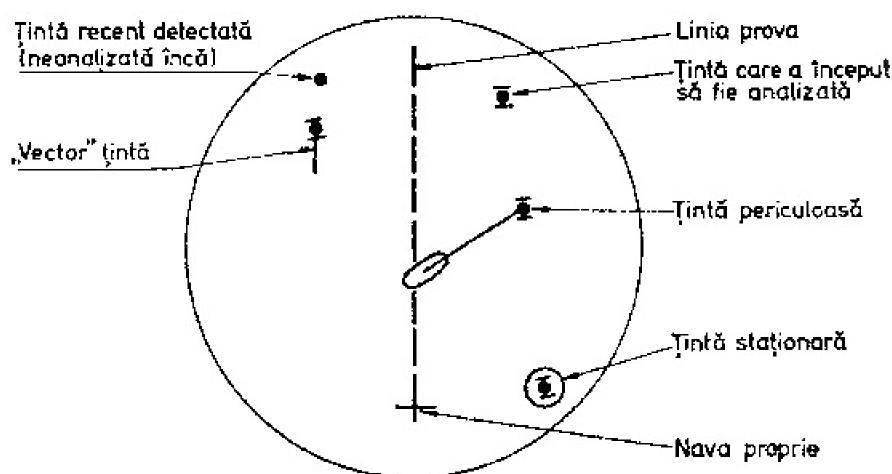


Fig. 30-44

§17 Stații radar la uscat în serviciul navigației

1 Generalități

Un număr din ce în ce mai însemnat de porturi, ce au un trafic intens și condiții de vizibilitate redusă, se dotează cu stații radar la uscat *(shore – based radar),* care aduc servicii prețioase pentru supravegherea situației de navigația din zonă și asistența pilotajului.

Instalațiile radar de la uscat sunt de performanțe evident superioare față de cele montate la bordul navelor. mai mari, al căror câștig la emisie atinge valori ridicate, iar emițătorul folosește impulsuri foarte scurte, în jur de 0.05 microsecunde, caracteristici ce realizează o mare putere de separare atât radială cât și unghiulară. Locul de instalare se alege astfel ca să se asigure condiții de acoperire radar cât mai favorabile ale zonelor de investigat: radă, canalul de acces spre port, bazinele portului etc., funcție de condițiile locale.

Operatorii instalațiilor radar de la uscat, chemați să dea asistență la conducerea și pilotarea navelor, efectuarea de operații de salvare etc., prin transmiterea de informații utile acestor scopuri, sunt selecționați din rândul oamenilor de specialitate, care posedă experiență pe mare.

Comunicațiile între stația radar și nave se fac în radiotelefonie, într-un canal de frecvență foarte înalte, atribuit special acestui serviciu.

Funcțiile principale ale stațiilor radar de la uscat sunt următoarele:

– acordarea de asistență pilotării navelor de la punctul de ambarcare a piloților spre danele portului sau ancoraje interioare, funcție de condițiile locale și invers;

– informarea continuă a autorității portuare asupra traficului din zonă și a poziției navelor aflate la ancoră sau în mișcare;

– controlul pozițiilor mijloacelor plutitoare de balizaj ale zonei (nave far, geamanduri etc.);

– determinarea poziției navelor în caz de accidente (abordaje, eșuări etc.) și asistarea navelor de salvare pentru a ajunge la locul de intervenție;

– controlul poziției de descărcare a șalandelor de material dragat.

2 Asistența pilotajului

Condițiile de vizibilitate redusă pe o perioadă lungă, de câteva zile, pot să conducă la congestia portului, cu efecte economice profund negative atât asupra activității portuare, cât și a navelor ce ar urma să iasă în mare sau să acosteze la dane pentru operațiuni de descărcare/încărcare.

Plecarea de la dană sau intrarea în port în condiții de vizibilitate redusă folosind numai informațiile radarului de la bord comportă un risc care este preluat foarte rar. În general, instalațiile radar de la bord nu dau informații suficient de precise pentru asemenea condiții de manevră și navigație, când funcționarea lor este influențată negativ și de existența obstacolelor din jur – nave, macarale, construcții portuare etc., care se interpun în calea fasciculului radar, creând în spatele lor *zone de umbră*, lipsite complet de conținut.

În asemenea situații, manevre și conducerea navei care intră sau iese din port poate fi asistată cu rezultate bune prin informații primite de la o stație radar de la uscat. În cazul navelor maritime cu radar la bord, stația radar de la uscat are menirea de a completa informațiile necesare pe care instalația proprie nu le poate asigura, îndeosebi a celor din *zonele de umbră*, cât și a detaliilor din apropierea navei.

Asistența de navigație a stației radar de la uscat se acordă la cererea comandantului navei, cu condiția ca la bord să existe un pilot local, care, pe lângă atribuțiile normale ce-i revin, are de asigurat și legăturile radio cu stația. Funcția operatorului de la stația radar, care se presupune că este și un cunoscător al condițiilor de navigație din zonă, este de a transmite informațiile necesare conducerii navei – până în momentul când nava ieșită în mare debarcă pilotul sau cea care intră în port acostează la dană sau ancorează. Luarea deciziilor pentru conducerea navei, pe baza informațiilor primite și a condițiilor existente, revine comandantului, asistat de pilot.

Asistența acordată unei nave pentru intrarea în port, de exemplu, de către stația radar de la uscat, se desfășoară astfel:

Nava ce vine de la larg pentru a intra în port ia drum spre punctul de staționare a pilotinei, în vederea ambarcării pilotului, apropierea fiind executată cu ajutorul radarului de la bord. În cazul în care comandantul dorește să fie asistat de stația radar de la uscat pentru executarea apropierii și ambarcarea pilotului, el poate intra în legătură radio cu aceasta, de la larg. Identificarea navei de către stația radar se face,

de regulă, prin convenirea unei anumite schimbări de drum, la o anumită oră, manevră ce poate fi uşor localizată de către operator. În continuare, după identificarea navei, operatorul transmite informaţiile necesare de drum şi manevră pentru executarea apropierii în vederea ambarcării pilotului. În anumite condiţii şi, îndeosebi, la navele de mare tonaj, se recomandă ancorarea într-o anumită poziţie, urmând ca staţia radar să dirijeze pilotina pentru ambarcarea pilotului.

Pilotul, după ambarcare, preia pilotajul, pentru intrarea în port, menţinând legătura radio cu staţia radar, care transmite continuu toate informaţiile şi precauţiile necesare conducerii şi manevrei navei, până când aceasta este acostată sau ancorată.

Experienţa arată că staţiile radar pot oferi cu succes aceleaşi servicii şi navelor care nu au în dotare instalaţii radar proprii. Desigur că în asemenea situaţii, volumul informaţiilor necesare de la staţia radar este considerabil mai mare, astfel ca comandantul şi pilotul să cunoască în permanenţă datele de poziţie, drum şi manevră pentru conducerea în siguranţă a navei.

31 NAVIGAȚIA CU SATELIȚI. PRINCIPII

§1 Generalități

Ideea utilizării sateliților artificiali ai Pământului în navigație pentru rezolvarea problemei de poziție s-a născut odată cu aceea a lansării lor în spațiul cosmic. În anul 1964 s-a realizat primul sistem de navigație cu ajutorul sateliților orbitali, numiți sateliți TRANSIT; acest sistem este cunoscut sub denumirea TRANSIT sau NNSS (constituită din primele litere ale expresiei „Navy Navigation Satellyte System"). În anul 1967 s-au creat condițiile unui acces general pentru utilizarea acestui sistem; în prezent el constă din cinci sateliți orbitali, care asigură acoperirea completă a Pământului.

Pentru rezolvarea problemei de poziție, sateliții folosiți pot fi *orbitali* sau *geostaționari:* cei orbitali execută mișcări de revoluție pe orbite polare, de formă circulară; cei geostaționari, plasați la o anumită altitudine, execută o mișcare de revoluție cu o perioadă egală cu cea a mișcării de rotație terestră, în sensul acesteia, având deci mișcarea relativă nulă în raport cu Pământul.

Metoda de determinare a punctului navei cu sateliți artificiali este similară celei aplicate în sistemele hiperbolice de navigație descrise mai sus: diferența esențială constă în faptul că stațiile de emisie radio nu sunt fixe pe suprafața Pământului, ci instalate la bordul sateliților, a căror mișcare în spațiu este riguros determinată. Avantajul folosirii sateliților este evident: stațiile de emisie radio aflate la bordul lor asigură acoperirea unei zone terestre mai extinse.

Aplicarea acestui sistem prezintă două caracteristici importante: înaltă precizie (vezi §4) și posibilitatea folosirii lui generale, pe toată suprafața Pământului, atât în navigația maritimă și aeriană, cât și în cea cosmică.

În prezent, atât bazele teoretice ale sistemului, cât și cele tehnologice de realizare sunt elucidate. Sistemul de navigație TRANSIT este deja în funcție, cu o aplicație limitată; alte variante sunt în curs de experimentare. La bordul navelor maritime comerciale, introducerea lui este încă foarte restrânsă, fiind în curs de căutare soluții mai adecvate pentru acestea; în stadiul actual, costul foarte ridicat al instalațiilor aferente, indisponibilitatea serviciilor de întreținere în porturile principale ale lumii, necesitatea specializării personalului de exploatare impun încă rețineri din partea armatorilor de nave comerciale. Surmontarea acestor dificultăți lasă să se întrevadă posibilitatea introducerii lui într-o primă etapă cel puțin la bordul navelor de mare tonaj, precum și a celor ce navigă în zone cu condiții dificile.

§2 Principiul sistemului

La baza determinării punctului navei cu observații la sateliți stă rezolvarea triunghiului cu vârfurile în centrul Pământului *T*, satelitul *S* și poziția observatorului *Z* (fig. 31-1). Astfel, linia de poziție determinată de observația la satelit poate fi cercul mic *ZZ'* pe sfera terestră, al cărui plan este perpendicular pe direcția *TS*

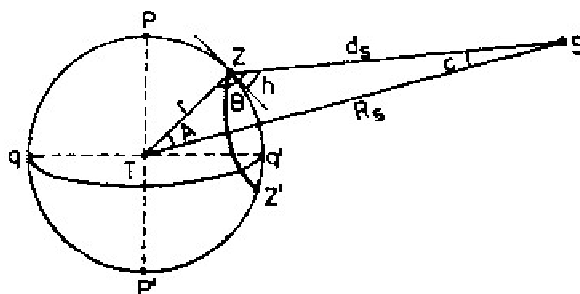


Fig. 31-1

ce leagă centrul Pământului cu satelitul; la intersecția a două asemenea linii de poziție, definite de observațiile la doi sateliți S_1 și S_2, se poate obține poziția navei.

În triunghiul *TSZ*, numit triunghi de bază, sunt cunoscute două elemente: r, raza terestră în punctul navei și R_s, raza orbitală a satelitului; pentru rezolvarea lui trebuie să se determine unul din elementele: d_s, distanța de la navă la satelit, unghiul $B = 90° + h$, unde h este înălțimea satelitului *S* deasupra orizontului adevărat al observatorului din *Z* sau unghiul *C* sub care se vede raza *r* a Pământului se elimină din problemă, deoarece el nu este măsurabil. Din punct de vedere practic, sunt două soluții posibile:

a – măsurarea distanței d_S de la bordul navei; aceasta presupune că nava este prevăzută cu o stație de emisie recepție pentru comunicarea cu satelitul, cu posibilitatea receptorului de măsurare a distanței, funcție de viteza de propagare a undei și măsurarea timpului necesar ca aceasta să parcurgă spațiul navă – satelit – navă;

b – măsurarea înălțimii *h*, care determină unghiul $B = 90°+ h$; aceasta presupune folosirea de sateliți artificiali geostaționari echipați cu stații de radioemisie, care să radieze spre sol unde electromagnetice cât mai stabile și măsurarea direcției lor de propagare cu receptoare prevăzute cu antene de mare directivitate.

Între cele două, prima soluție, de măsurare a distanței d_S de la bordul navei, este mai economică și mai precisă.

Rezolvarea triunghiului de bază permite calcularea unghiului la centru *A*, ce definește cercul mic *ZZ'*, ca linie de poziție determinată de observația la satelit.

Dacă se folosește un al doilea satelit, de poziție cunoscută în raport cu primul, măsurarea distanței la el generează o a doua familie de cercuri mici de poziție; prin intersecția a două linii de poziție se obține punctul navei. Figura 31-2 redă acest principiu pentru cazul a doi sateliți geostaționari cu o diferență de longitudine de 60°.

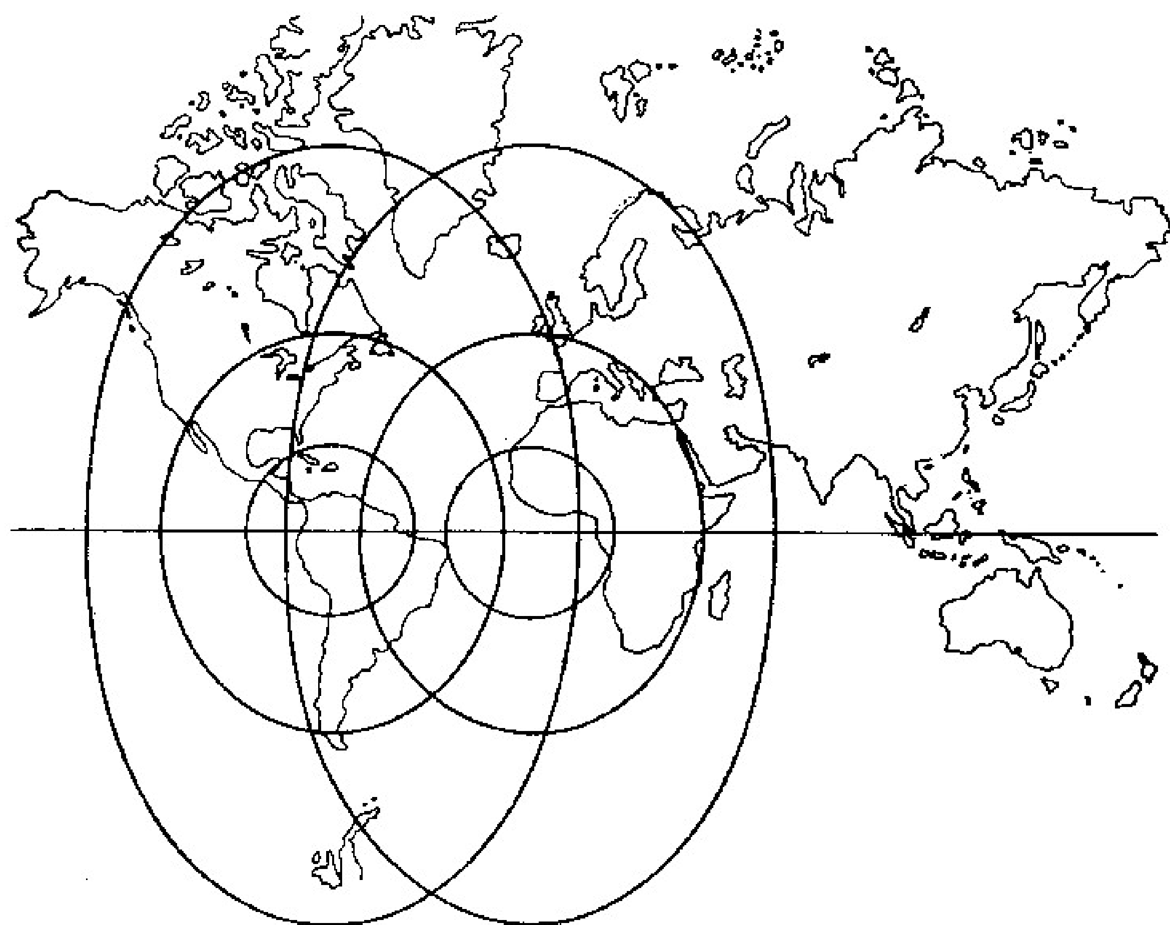


Fig. 31-2

§3 Ecuațiile fundamentale pentru calculul latitudinii și longitudinii cu observații la doi sateliți

Presupunem doi sateliți geostaționari S_1 și S_2 în planul ecuatorului (fig. 31-3); sfera terestră este văzută de polul P al emisferei ce conține poziția navei Z. Segmentul S_1S_2 este numit *linie de bază*, ce are centrul în O. Acesta se consideră originea sistemului de coordonate carteziene având axa absciselor xx', pe direcția liniei de bază, iar cea a ordonatelor yy' – perpendiculară pe prima; planul acestui sistem trece prin punctul Z. Lungimea liniei de bază este $2m$. Distanța de la O la centrul Pământului, în planul ecuatorului, este d; raza sferei terestre este r.

În sistemul de coordonate stabilit, poziția punctului Z în planul S_1S_2Z este determinată de coordonatele x și y.

Aceleași elemente sunt prezentate în figura 31-4, văzută în perspectivă, în care se stabilesc următoarele:

– punctul L, intersecția direcției TO cu ecuatorul;

– meridianul PLP' se consideră meridianul de origine pentru măsurarea longitudinii λ a punctului Z;

– punctul M, piciorul perpendicularei coborâtă din Z pe planul ecuatorului;

– punctul H, piciorul perpendicularei coborâtă din M pe direcția TO;

– $\sphericalangle ZTM = \varphi$ = latitudinea punctului Z;
– $\sphericalangle ZTH = A$;
– $TH = a$; $MH = x$; $TM = b$; $OT = d$;
– Y = ordonata punctului Z.

Fig. 31-3

Elementele menţionate în figura 31-4 sunt legate de următoarele relaţii:

$$TH = a = r \cos A$$

$$TM = b = \frac{a}{\cos\lambda}$$

$$\text{tg}\,\lambda = \frac{MH}{TH} = \frac{x}{a} = \frac{x}{r\cos A} \qquad (31\text{-}1)$$

$$\cos\varphi = \frac{TM}{TZ} = \frac{b}{r} = \frac{\cos A}{\cos\lambda} \qquad (31\text{-}2)$$

$$\cos A = \frac{d^2 + r^2 - (x^2 + y^2)}{2rd} \qquad (31\text{-}3)$$

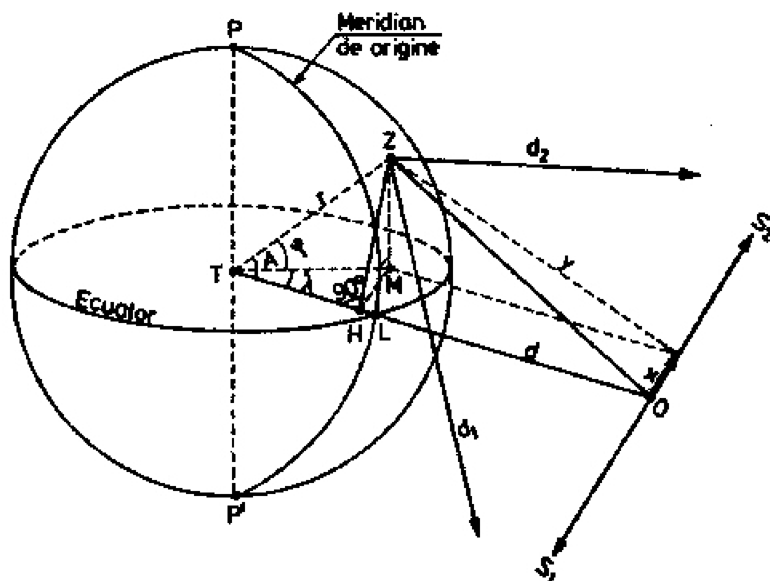


Fig. 31-4

Din figura 31-3 se deduce:

$$d_1^2 = y^2 + (m + x)^2 = y^2 + m^2 + 2mx + x^2$$
$$d_2^2 = y^2 + (m - x)^2 = y^2 + m^2 - 2mx + x^2$$

de unde:

$$x = \frac{d_1^2 - d_2^2}{4m} \tag{31-4}$$

$$x^2 + y^2 = \frac{d_1^2 + d_2^2}{2} - m^2 \tag{31-5}$$

Dacă se consideră:

$$\Sigma = \frac{d_1^2 + d_2^2}{2},$$

$$\Delta = \frac{d_1^2 - d_2^2}{2}$$

şi substituind (31-4), (31-5) în (31-1) şi (31-3) se obţine:

$$\text{tg}\,\lambda = \frac{d\Delta}{m(d^2 + m^2 + r^2 - \Sigma)^2} \tag{31-6}$$

iar din (31-2) rezultă:

$$\cos\varphi = \frac{1}{2r}\sqrt{\frac{\Delta^2}{m^2} + \frac{(d^2 + m^2 + r^2 - \Sigma)^2}{d^2}} \tag{31-7}$$

Mărimile m, d şi r fiind cunoscute, formulele (31-6) şi (31-7) arată că latitudinea şi longitudinea observatorului sunt funcţii simple de pătratele distanţelor (d_1, d_2) la sateliţi; d şi m sunt elemente orbitale ale celor doi sateliţi, care sunt riguros determinate. Astfel, problema de poziţie poate fi rezolvată pe baza a patru metode aplicabile în practică:

- măsurarea distanţelor d_1 şi d_2;
- măsurarea distanţei d_1 sau d_2 şi a diferenţei ($d_1 - d_2$);
- măsurarea distanţei d_1 sau d_2 şi a sumei ($d_1 + d_2$);
- măsurarea sumei ($d_1 + d_2$) şi a diferenţei ($d_1 - d_2$).

Curbele de egală sumă a distanţelor ($d_1 + d_2$) reprezintă familiile rectangulare de elipsoizi şi, respectiv, de hiperboloizi ce au drept focare poziţiile celor doi sateliţi geostaţionari separaţi de o diferenţă de longitudine de 60°.

Diferenţa ($d_1 - d_2$) poate fi obţinută prin aplicarea procedeelor folosite la sistemele hiperbolice, măsurând diferenţa de timp între momentele recepţiei semnalelor emise de la cei doi sateliţi S_1 şi S_2 (procedeu aplicat la sistemul loran) sau a diferenţei de fază (ca la sistemele omega şi decca).

Suma ($d_1 + d_2$) poate fi determinată funcţie de viteza de propagare a undei şi măsurarea timpului necesar unui semnal emis de la bord pentru a parcurge triunghiul nava Z – satelitul S_1 – satelitul S_2 – navă, din care se deduce retardaţia corespunzătoare parcurgerii liniei de bază S_1S_2 (fig. 31-3).

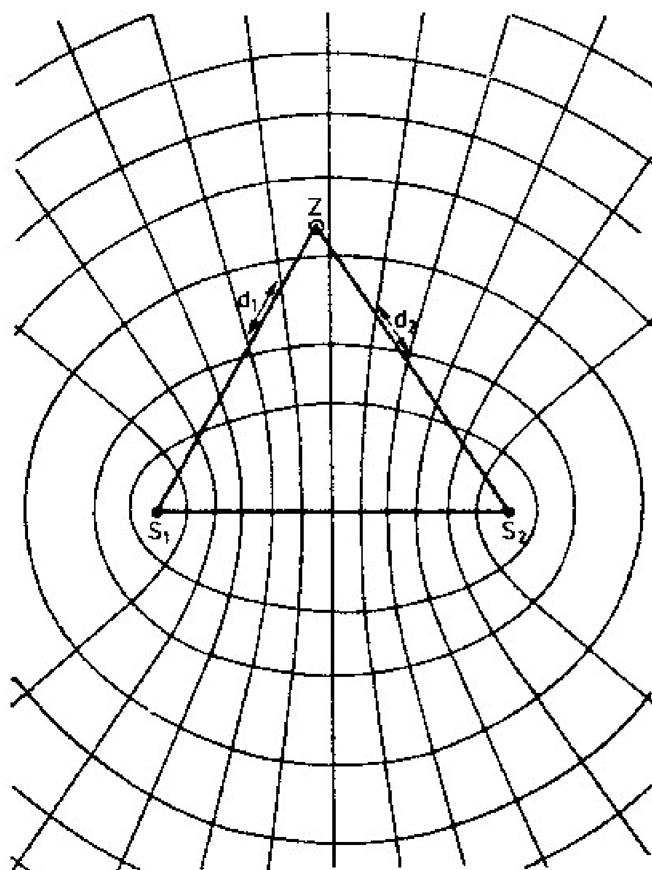


Fig. 31-5

§4 Precizia punctului

În rezolvarea ecuațiilor fundamentale (31-6) și (31-7) pentru calculul latitudinii și longitudinii, mărimile *m*, *d* și *r* au fost considerate cunoscute. Într-adevăr, raza orbitală *d* a satelitului și lungimea 2 *m* a liniei de bază, cu mijloacele actuale, se pot determina la precizie de ordinul metrilor. În considerațiile de mai sus, pentru simplificarea discuției, Pământul a fost presupus sferic; desigur că pentru precizia calculului, *r* trebuie să fie reprezentat prin distanța *TZ* (fig. 31-4) a elipsoidului terestru.

Eroarea totală de observație ρ conținută de d_1, d_2 și respectiv de suma $(d_1 + d_2)$ sau de diferența $(d_1 - d_2)$, elemente ce stau la baza calculului coordonatelor punctului navei, este generată de suma erorilor de propagare a undei și cele instrumentale. Între acestea, eroarea principală este consecința refracției undei produsă de atmosfera terestră. Astfel, figura 31-6 redă forma curbelor de refracție a undelor în frecvențele de 150 și 400 MHz; emisia simultană de către satelit a două semnale de frecvențe diferite permite determinarea erorii de refracție pe baza diferenței de timp dintre momentele recepției lor sau a diferenței de fază.

Pentru o anumită eroare totală de observație ρ, se demonstrează că eroarea în longitudine E_λ și cea în latitudine E_φ sunt exprimate de ecuațiile:

$$E_\varphi = \frac{\rho\cos\lambda}{2\sin\varphi}\left[\frac{(d_1+d_2)}{d} - \frac{(d_1-d_2)}{m}tg\lambda\right] \qquad (31\text{-}8)$$

$$E_\lambda = \frac{\rho\cos\lambda}{2\cos\varphi}\left[\frac{(d_1-d_2)}{m} + \frac{(d_1-d_2)}{d}tg\lambda\right] \qquad (31\text{-}9)$$

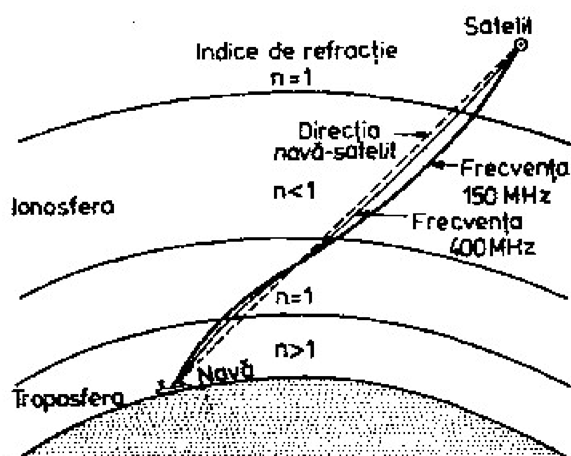


Fig. 31-6

unde λ reprezintă în acest caz diferența de longitudine față de meridianul de origine *PLP'* (fig. 31-4).

Ecuațiile (31-8) și (31-9) arată că:

– erorile de poziție sunt compuse dintr-un factor eliptic de forma $(d_1 + d_2)$ și unul hiperbolic, de forma $(d_1 - d_2)$;

– efectul factorului hiperbolic $(d_1 - d_2)$ variază invers cu lungimea liniei de bază 2 *m*;

– efectul erorii totale este nul când diferența de longitudine este 90°;

– eroarea în poziție crește rapid în apropierea ecuatorului, în cazul observării unor sateliți în planul acestuia.

§5 Sistemul de navigație cu sateliți orbitali (TRANSIT)

Sistemul TRANSIT constă în prezent din cinci sateliți orbitali (fig. 31-7), cu o greutate de aproximativ 61 kg fiecare, care gravitează în jurul Pământului la altitudinea de circa 1 100 km, pe orbite polare de formă aproape circulară, cu o perioadă de revoluție de 1^h48^m. Planele orbitelor de revoluție sunt astfel stabilite încât să se asigure acoperirea întregii suprafețe terestre.

De asemenea, sistemul mai cuprinde o serie de *stații de urmărire*, repartizate pe suprafața Pământului, un *centru de calcul* și o *stație de emisie*. Stațiile de urmărire efectuează măsurătorile la sateliți, pe care le transmit la centrul de calcul, unde se prelucrează și se stabilesc previziunile orbitale (*efemerida* cu coordonatele sateliților pentru perioada următoare); stația de emisie transmite aceste informații dispozitivului de memorie al satelitului, care efectuează înregistrarea și apoi ștergerea lor la recepția noilor date.

La intervale de două minute, fiecare satelit transmite un semnal de timp și o serie de date, inclusiv *corecțiile orbitale* la efemerida transmisă de la sol, care permit determinarea precisă a poziției satelitului pe orbită: transmiterea acestor semnale se efectuează în două frecvențe stabile, de 400 și de 150 MHz.

Pentru îndeplinirea funcțiilor ce le are în cadrul sistemului, un satelit TRANSIT este echipat în principal cu:

– două oscilatoare ce emit semnale foarte stabile pe frecvențele de 150 și 400 Mhz;

– un sistem de traductoare ce controlează parametrii constructivi ai satelitului şi parametrii spaţiului extraterestru;

– un radiotelemetru ce lucrează pe frecvenţa de 108.03 Mhz;

– un sistem de alimentare cu energie electrică, constând din baterii cu argint-nichel, cadmiu-nichel, precum şi baterii solare, ce transformă radiaţiile solare în energie electrică;

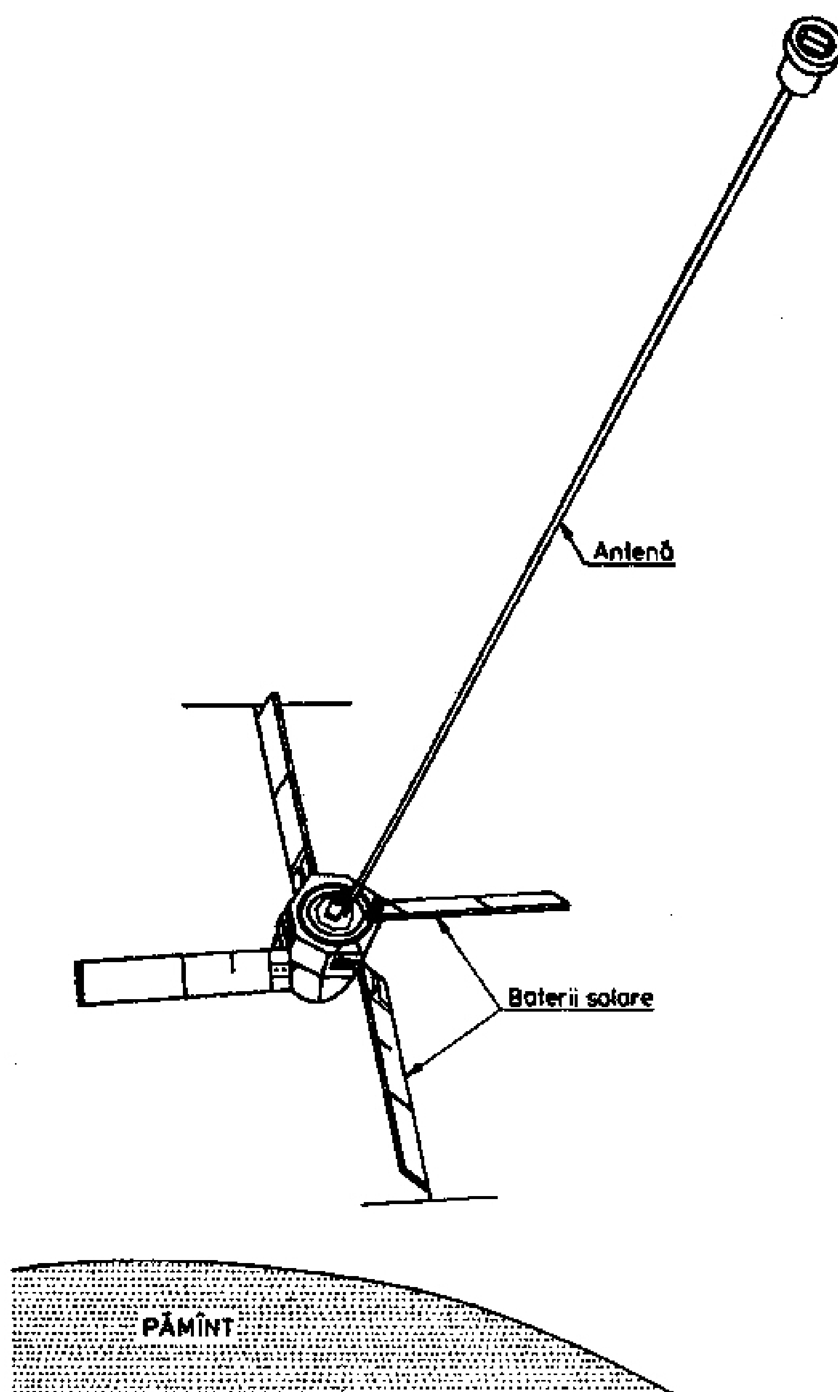


Fig. 31-7

– un ceasornic electronic de mare precizie;

– un receptor pentru captarea informaţiilor transmise de staţiile terestre;

– un bloc de memorie;

– un dispozitiv de programare ce reglează funcționarea aparaturii satelitului;

– un sistem de stabilizare pe orbită a orientării satelitului;

– două antene speciale, în formă de spirale, plasate pe suprafața satelitului, pentru recepția și transmiterea informațiilor.

Orbita unui satelit nu este constantă din următoarele cauze:

– la altitudinea satelitului, atmosfera, deși într-o formă extrem de rarefiată, provoacă anumite variații ale vitezei acestuia pe orbită. Variațiile sunt neuniforme, astfel că nu este posibilă calcularea influenței asupra orbitei;

– câmpul gravitațional terestru are variații neregulate, care nu sunt cunoscute cu rigurozitate. Datorită acestora, nu este posibilă determinarea unor previziuni orbitale de lungă durată.

Semnalele emise de un satelit sunt recepționate la navă după *„răsăritul"* acestuia deasupra *orizontului radio* până la *„apusul"* lui, timp de aproximativ 14 minute. În acest timp, la bord se efectuează observațiile la satelit pentru determinarea punctului navei. Intervalul dintre două determinări consecutive a poziției navei este funcție de latitudine: condițiile cele mai favorabile sunt oferite de latitudini medii (apropiate de 45°), unde cu un sistem de cinci sateliți este posibilă rezolvarea problemei de poziție la intervale de aproximativ o oră. În zona ecuatorială, efectuarea observațiilor pentru determinarea punctului navei este posibilă la intervale de aproximativ 90 de minute.

Atât determinarea poziției satelitului pe orbita sa, de către stațiile terestre, cât și a punctului navei pe suprafața Pământului, cu receptorul TRANSIT de la bord, se bazează pe folosirea *efectului Doppler* – prin măsurarea variației frecvenței oscilațiilor electromagnetice transmise de satelit *(„frecvența Doppler")*[*] , ca urmare a mișcării relative dintre emițător (satelit) și receptor (stație de urmărire și respectiv navă), în intervalul de timp dintre momentul emisiei și cel al recepției. În primul caz, măsurarea frecvenței Doppler servește la rezolvarea problemei de poziție a satelitului pe orbita sa, în raport cu poziția cunoscută a stației de urmărire; în cazul observației de la navă, măsurarea frecvenței Doppler servește la determinarea punctului navei, în raport cu poziția cunoscută a satelitului.

Prin măsurarea la bord a frecvenței Doppler se determină diferența de distanță la două poziții succesive A și B ale satelitului (fig. 31-8), pe care acesta le ocupă pe orbită la începutul și sfârșitul intervalului activ de două minute; punctele A și B constituie o linie de bază. Locul punctelor de egală diferență a distanțelor la cele două puncte A și B, ca focare, determină în spațiu un hiperboloid; linia de poziție a navei este de forma unei hiperbole sferice (vezi cap. 27, § 2) obținută prin intersecția hiperboloidului cu suprafața terestră. Ca și în cazul observațiilor la aștri, se recomandă ca înălțimea satelitului în momentul observației să nu fie mai mică de 15°, pentru a se evita erori mari de refracție; *de asemenea*, se evită înălțimile mai mari de75° deasupra orizontului adevărat.

Măsurarea frecvenței Doppler în următorul interval de timp, când pozițiile succesive ale satelitului pe orbită formează linia de bază BC, determină o a doua linie de poziție hiperbolică. La intersecția celor două linii de poziție succesive, se obține punctul observat – estimat al navei pentru momentul ultimei observații. Intervalul de timp dintre observații fiind redus, la nivelul tehnicii actuale de

---

[*] Vezi capitolul 5, § 8.

determinare a drumului și a distanței parcurse, eroarea în estimă este practic neglijabilă. În efectuarea calculului se impune aplicarea corecției de refracție a undei și de înălțime a antenei receptorului de la bord.

Precizia punctului astfel determinat este de ordinul ±0.1 Mm. În cazul în care se folosește un satelit care emite semnalele într-o singură frecvență, în scopul reducerii

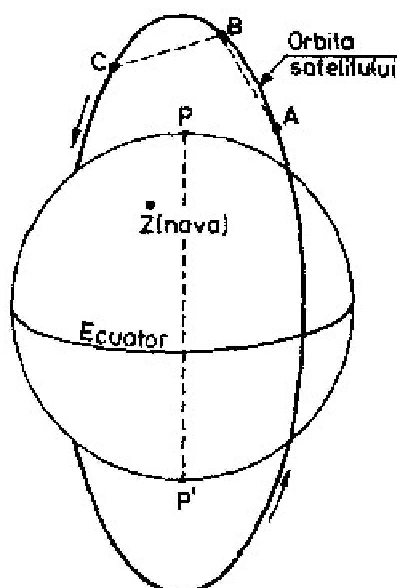


Fig. 31-8

costului sistemului, ceea ce constituie un factor important pentru aspectul economic, precizia punctului este în limitele de ±0.25 Mm, ca urmare a aproximației în determinarea corecției de refracție.

Sistemul TRANSIT prezintă avantajul posibilității determinării punctului navei în orice condiție de observație, cu o înaltă precizie; dezavantajele în prezent sunt constituite de costul ridicat al sistemului, în general, ca și a instalației TRANSIT de bord, precum și de faptul că el nu oferă posibilitatea unei determinări continue a punctului navei. Pentru aspectul economic al sistemului este de reținut că sateliții TRANSIT nu pot fi folosiți decât pentru rezolvarea problemei de poziție.

§6 Sistemul de navigație cu sateliți geostaționari

Sistemul sateliților geostaționari, aflat în stadiu experimental, prezintă interes din următoarele motive: sistemul este mai puțin costisitor, sateliții putând fi utilizați și pentru radiocomunicații; instalația de bord sensibil mai simplă și mai ieftină; exploatarea mai simplă; oferă posibilitatea determinării continue a poziției navei.

Sateliții geostaționari sunt plasați pe orbite circulare ecuatoriale, cu o rază orbitală de circa 42 000 Km și deci o altitudine de circa 36 000Km; ei execută o mișcare de revoluție cu o perioadă de 24 de ore siderale în sensul mișcării de rotație terestre, având deci o *poziție staționară* în raport cu Pământul.

Deoarece sateliții geostaționari nu au nici o mișcare relativă față de suprafața terestră, fiind lipsiți deci de efectul Doppler, se impune aplicarea unui alt principiu

pentru determinarea liniei de poziţie a navei, decât la sistemul TRANSIT. Experimentările efectuate au condus spre mai multe soluţii.

Astfel, una dintre variante foloseşte determinarea liniei de poziţie prin măsurarea distanţei la satelit. Poziţia satelitului observat fiind cunoscută, se obţine o linie de egală distanţă; măsurarea distanţei la doi sateliţi determină două linii de poziţie de egală distanţă, la a căror intersecţie se află punctul navei.

Determinarea distanţei se realizează prin măsurarea timpului necesar unui radiosemnal emis de la bord pentru parcurgerea spaţiului navă – satelit – navă. În acest caz, la interceptarea semnalului, satelitul îl transmite prin intermediul unui *repetor de impulsuri*. De asemenea, distanţa navă – satelit se poate obţine şi prin compararea fazei semnalului recepţionat la bord cu a celui emis.

Precizia liniei de poziţie de egală distanţă determinată pe baza acestor procedee este în limitele de ± 500 m. La latitudini medii, precizia punctului este de ± 1Mm. La latitudini mici, apropiate de ecuator, calculul latitudinii punctului navei este incert în cazul observării sateliţilor aflaţi în planul ecuatorului (vezi formula 31-7). De aceea, se impune ca sistemul să dispună şi de alţi sateliţi, cu orbite înclinate faţă de planul ecuatorului. Şase sateliţi geostaţionari cu orbite ecuatoriale, echidistanţi, pot acoperi întreaga zonă navigabilă a globului, cu excepţia calotelor polare; folosirea a încă trei sateliţi, cu orbite înclinate faţă de planul ecuatorului, pot rezolva atât problema calculului latitudinii în zona ecuatorială, cât şi acoperirea calotelor polare.

O altă variantă a sistemului, mult simplificată pentru navă, care în acest caz trebuie prevăzută doar cu o instalaţie cu doi repetori de impulsuri, este următoarea (fig. 31-9):

– o staţie terestră de dirijare transmite un semnal (pe canalele de legătură 2) spre sateliţii *A* şi *B*, care îl retransmit spre navă;

– semnalele recepţionate la navă sunt retransmise pe aceleaşi trasee (canalele de legătură 3), înapoi la staţia terestră;

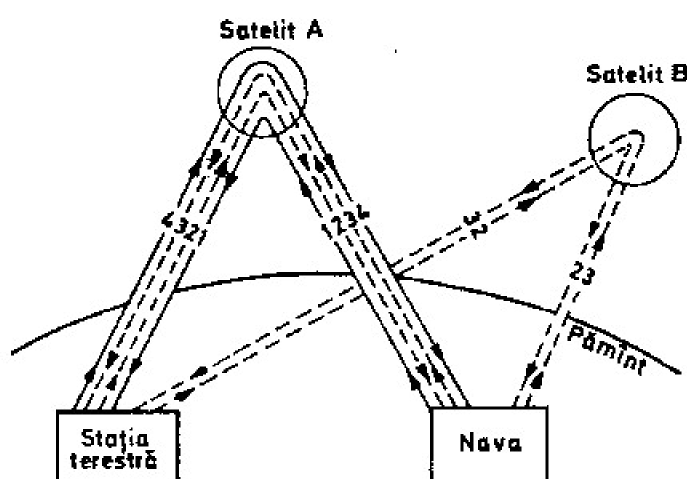


Fig. 31-9

– poziţia sateliţilor *A* şi *B* fiind cunoscute, staţia terestră calculează distanţele staţie – sateliţi;

– prin unul din cele două procedee de mai sus staţia terestră determină distanţele totale staţie – sateliţi – navă, din care se scad distanţele staţie –sateliţi şi se obţin astfel distanţele sateliţi – navă pentru momentul observaţiei;

– pe baza poziţiilor sateliţilor *A* şi *B* din momentul observaţiei şi a distanţelor sateliţi-navă, staţia terestră calculează coordonatele punctului navei, pe care le transmite acesteia (canalul de legătură 4, prin intermediul satelitului *A*); totodată se pot transmite navei şi precauţii de navigaţie apreciate ca utile. Staţia terestră transmite aceste informaţii sub formă codificată (prin combinaţii de cifre), pentru a face posibilă legătura cu mai multe nave din zonă în aceeaşi perioadă, în scopul rezolvării problemei de poziţie.

Canalul de legătură 1 este prevăzut pentru comunicaţiile privind siguranţa navigaţiei: legătura cu nave aflate în pericol, preciziuni de vreme rea etc.

În varianta NAVSTAR, sateliţii geostaţionari emit simultan semnale de măsurare a distanţei; recepţionarea acestor semnale la bord de la cel puţin trei sateliţi permite măsurarea diferenţei distanţelor (prin măsurarea diferenţelor de timp sau de fază) şi pe această bază se obţin două linii de poziţie hiperbolice, la a căror intersecţie se află punctul navei. Cei trei sateliţi constituie deci un lanţ de trei staţii, cu două linii de bază, ce oferă două familii de hiperbole (vezi cap. 27, § 2).

§7 Concluzii. Perspective privind aplicarea la bordul navelor maritime comerciale

Sistemul TRANSIT existent în funcţie oferă posibilitatea determinării precise a punctului navei, în toate zonele navigabile ale globului, indiferent de condiţiile de observaţie. Pentru a înlătura unul din dezavantajele sistemului şi anume, acela al intervalului dintre momentele când este posibilă determinarea punctului navei (mai mare de o oră, funcţie de latitudine), anumite tipuri de instalaţii TRANSIT sunt prevăzute cu un calculator electronic, care rezolvă şi următoarele funcţii:

– ţinerea la zi a navigaţiei şi afişarea continuă a coordonatelor punctului navei, prin informaţiile de poziţie primite de la receptorul TRANSIT, de drum – de la un girocompas de înaltă precizie şi de distanţă parcursă – de la un loch ultrason Doppler;

– comandă guvernarea automată a navei prin giropilot pentru menţinerea ei pe un anumit drum deasupra fundului, trasat preliminar pe hartă.

Asemenea instalaţii sunt însă costisitoare, exploatarea şi îndeosebi întreţinerea lor solicită personal de înaltă calificare, iar serviciile de revizie şi reparaţii sunt încă foarte restrânse. De aceea, în stadiul actual, aplicarea sistemului TRANSIT este limitată doar la o serie de nave de cercetare a zonelor petroliere marine, nave de mare tonaj, nave de pasageri şi un număr restrâns de alte nave speciale sau care navigă în condiţii deosebite de dificultate.

Convingerea armatorilor de nave comerciale pentru aplicarea sistemului la navele lor poate fi înfăptuită cu argumentele de natura: cost rezonabil, aport însemnat pentru siguranţa navigaţiei, economie de timp pe timpul traversadei de la un port la altul, economie de combustibil, simplitate în exploatare, posibilitatea efectuării lucrărilor de întreţinere în porturile principale ale lumii pe timpul staţionării navelor sub operaţiuni.

În stadiul actual, sistemul TRANSIT nu oferă asemenea argumente decât pentru navele de mare tonaj, precum şi pentru cele speciale (de cercetare, cabliere etc.).

Sistemul geostaţionar, deşi prezintă o precizie mai mică decât sistemul TRANSIT, dar care se menţine totuşi în limite absolut satisfăcătoare, după soluţionarea concluziilor ce se aşteaptă de la experimentările în curs şi perfecţionarea lui pe această bază în perioada următoare, ar putea oferi o soluţie de generalizare, cu aplicaţii valoroase pentru rezolvarea problemei de poziţie, la organizarea şi urmărirea acţiunilor de salvare pe mare, precum şi la îmbunătăţirea radiocomunicaţiilor pentru siguranţa navigaţiei, în general.

32 NAVIGAŢIA INERŢIALĂ. PRINCIPII

§1 Consideraţii introductive

În *navigaţia inerţială* informaţia fundamentală folosită la calculul coordonatelor este acceleraţia navei, măsurată la bord cu ajutorul unor *accelerometre*. Această informaţie este prelucrată într-un bloc de calcul; prima integrare a acceleraţiei determină viteza navei, iar a doua – rezolvă problema de poziţie, indicând continuu valoarea coordonatelor.

Caracteristica navigaţiei inerţiale, faţă de toate celelalte sisteme analizate, constă în faptul că determinarea poziţiei este independentă de sursele exterioare de informaţii. Această autonomie în funcţionare, precum şi deosebirea faţă de celelalte sisteme de navigaţie electronică – de a nu se baza pe radiaţie de energie electromagnetică, au făcut ca sistemul de navigaţie inerţială să fie dezvoltat în faza iniţială în scopuri militare. Astfel, *navigatorul inerţial* a fost aplicat pentru prima dată la dirijarea rachetelor, spre sfârşitul celui de al doilea război mondial, apoi în navigaţia aeriană şi submarină; ulterior s-a extins în navigaţia cosmică, precum şi în navigaţia maritimă.

Funcţionarea navigatorului inerţial se bazează pe legile mecanicii clasice, enunţate încă din secolul al XVII-lea; materializarea lui nu a fost însă posibilă decât după ce tehnologia a realizat progrese în domeniul fabricaţiei accelerometrelor, capabile să măsoare componentele acceleraţiei vehiculului pe axele de referinţă, a giroscoapelor – pentru orientarea şi menţinerea accelerometrelor pe aceste axe, precum şi a calculatoarelor electronice, care rezolvă ecuaţiile de calcul ale coordonatelor pe baza acceleraţiei măsurate.

În principiu, navigatorul inerţial rezolvă problema de poziţie prin determinarea continuă a deplasărilor vehiculului în raport cu anumite axe de referinţă şi însumarea lor la coordonatele cunoscute ale *punctului iniţial*. În domeniul erorilor, caracteristica sistemului constă în faptul că acestea cresc proporţional cu timpul de funcţionare a navigatorului inerţial faţă de momentul plecării din *punctul iniţial* sau acela al ultimului *punct observat*, în raport de care se determină poziţia vehiculului. De aceea, în navigaţia de lungă durată, cum este cazul în cea cosmică şi maritimă, se folosesc sisteme integrate, în care un sistem de determinare a poziţiei pe bază de observaţie corectează periodic coordonatele punctului de referinţă al navigatorului inerţial. Astfel, de exemplu, în navigaţia cosmică, navigatorul inerţial a fost folosit prin integrare cu procedee astronomice de poziţie.

Navigatorul inerţial folosit în marină rezolvă problema de poziţie prin determinarea continuă a deplasărilor navei în raport cu axele nor-sud şi est-vest, şi însumarea acestora la coordonatele punctului iniţial. Dat fiind durata mare a

funcționării, în cazul folosirii la bordul navelor maritime, indicațiile navigatorului inerțial sunt cercetate periodic prin introducerea în sistem a coordonatelor *punctului observat,* determinate printr-un procedeu precis, bazat pe observație.

Precizia medie a punctului indicat de navigatorul inerțial folosit în marină, în condițiile tehnicii actuale, poate fi considerată de aproximativ ± 1Mm; precizia este deci comparabilă cu cea a sistemelor hiperbolice de navigație sau a procedeelor astronomice aplicate în condiții favorabile de observație.

În prezent, navigatorul inerțial este o instalație foarte costisitoare*, realizarea lui implicând o tehnologie complexă. De aceea, cu câteva excepții**, el nu a fost încă introdus la bordul navelor maritime comerciale. Reducerea costului și simplificarea în exploatare sunt condiții pentru aplicarea în viitor la aceste nave.

§2 Principiul navigatorului inerțial

În navigația estimată, coordonatele, φ_1, λ_2 ale punctului de sosire se obțin din suma algebrică a coordonatelor φ_1, λ_1 ale punctului de plecare cu diferențele de coordonate Δ_φ și Δ_λ, calculate funcție de drumul navei și distanța parcursă în intervalul de timp considerat:

$$\varphi_2 = \varphi_1 + \Delta_\varphi$$
$$\lambda_2 = \lambda_1 + \Delta\lambda = \lambda_2 + e \sec \varphi_m$$

unde e reprezintă deplasarea est-vest.

Considerând că diferențele de coordonate sunt constituite din suma unor deplasări pe meridian $d\varphi$, infinit mici și respectiv de, pe paralelul punctului inițial, parcurse într-un interval de timp dt infinit mic, coordonatele punctului de sosire sunt exprimate de relația:

$$\varphi_2 = \varphi_1 + \sum d\varphi$$
$$\lambda_2 = \lambda_1 + \sum de \sec \varphi_1 \qquad (32\text{-}1)$$

În navigația inerțială, deplasările orizontale ale navei în raport cu axele nord-sud și est-vest se determină pe baza celei de a doua legi a lui Newton:

$$F = ma \qquad (32\text{-}2)$$

unde F reprezintă forța ce acționează asupra unui corp de masă m, astfel ca să producă accelerația a.

Accelerația fiind derivata a doua a spațiului s în raport cu timpul t, relația (32-2) poate fi scrisă în forma:

$$F = m\,\frac{d^2 s}{dt^2},$$

care arată că pentru realizarea unui sistem de navigație inerțială trebuie să se asigure măsurarea continuă a accelerației mobilului (a navei), mărime fizică ce poate servi la calculul vitezei v și respectiv a spațiului s parcurs de navă în intervalul dt.

---

* Aproximativ jumătate din costul unui navigator inerțial este constituit în prezent de cel al giroscoapelor, de performanețe superioare, folosite la realizarea platformei stabilizate,

** Până în prezent a fost folosit doar la câteva nave, de cercetare și de pasageri.

Dar accelerația *a* este derivata vitezei *v* în raport cu timpul:

$$a = \frac{dv}{dt}$$

de unde:

$$dv = a \cdot dt$$

pe care integrând-o devine:

$$v = \int a \cdot dt \qquad (32\text{-}3)$$

Relația (32-3) exprimă viteza *v* a navei, care este derivata spațiului în raport cu timpul, deci:

$$v = \frac{ds}{dt}$$

de unde:

$$ds = v \cdot dt \qquad (32\text{-}4)$$

Integrând ecuația (32-4) și ținând seama de (32-3) și (32-2) se obține:

$$s = \iint a \cdot dt \cdot dt = \iint \frac{F}{m} dt^2 \qquad (32\text{-}5)$$

care exprimă distanța *s* parcursă de navă într-un anumit interval de timp în raport cu *punctul inițial,* de coordonate cunoscute.

Măsurarea accelerației $a = \frac{F}{m}$ se efectuează prin intermediul a două *accelerometre*, orientate pe direcția N – S și respectiv E – W, montate pe o *platformă stabilizată* în planul orizontului adevărat, printr-un sistem de giroscoape; determinarea vitezei și a spațiului parcurs de navă se realizează cu ajutorul unor *integratoare.* Accelerometrele măsoară continuu componentele *dx* și respectiv *dy* ale spațiului *s* parcurs de navă pe cele două axe ale intervalului *dt*, reprezentând deplasările infinit mici $d\varphi$ și *de* pe meridianul și respectiv paralelul punctului inițial, de coordonate cunoscute. Coordonatele punctului de sosire după un interval de timp Δt sunt exprimate deci de relația:

$$\varphi_2 = \varphi_1 + \Sigma dx$$
$$\lambda_2 = \lambda_1 + \Sigma dy \cos \varphi_1 \qquad 32\text{-}6$$

Coordonatele punctului sunt calculate și afișate continuu de către un *calculator numeric,* pe baza informațiilor primite de la accelerometre și integratoarele de poziție.

Din cele arătate rezultă că sistemul de navigație inerțială poate fi asimilat cu cel estimat, cu diferența esențială că el nu folosește informații exterioare (drumul navei, distanța parcursă etc.), ci este deplin autonom.

În cazul în care *platforma stabilizată* nu este orientată riguros în orizontul adevărat al locului, mărimile *dx* și *dy* măsurate cu accelerometrele reprezintă suma componentelor spațiului *s* parcurs de navă și ale accelerației gravitației *g* în intervalul *dt*. Influența accelerației gravitației se elimină automat sub forma unei corecții.

Ecuaţia (32-5) arată că erorile sistemului sunt *cumulative*, ele cresc proporţional cu timpul; în navigaţia maritimă, care se desfăşoară pe perioade îndelungate, de ordinul zilelor sau al săptămânilor, se impune eliminarea erorilor acumulate, prin introducerea în sistem a coordonatelor poziţiei navei determinate cu precizie pe bază de observaţie (cu relevmente vizuale, puncte decca etc.), de câte ori condiţiile permit.

§3 Componentele principale ale navigatorului inerţial

Funcţionarea navigatorului inerţial se bazează pe trei părţi fundamentale: *accelerometrele, platforma stabilizată* şi *calculatorul electronic.*

1 Accelerometrele

Un accelerometru este compus dintr-un corp de masă *m*, care constituie elementul sensibil, o carcasă, un sistem de suspensie şi un dispozitiv de măsurare a semnalului de ieşire, ce reprezintă acceleraţia. Funcţie de forma mişcării elementului sensibil, se deosebesc accelerometre *rectilinii* şi *pendulare.*

Figura 32-1 reprezintă schema de principiu a unui accelerometru rectiliniu de masă *m*, susţinut elastic în centrul carcasei de către două arcuri antagoniste. Dispozitivul de măsurare este electric; deplasarea masei *m* determină o variaţie de potenţial proporţională cu acceleraţia *a* produsă de forţa *F* asupra elementului sensibil. Axa arcurilor de susţinere constituie direcţia de măsurare a acceleraţiei, numită *axă de sensibilitate.*

Navigatorul inerţial de tip naval foloseşte două accelerometre *Ax* şi *Ay* fixate în plan orizontal, primul dispus cu axa de sensibilitate în meridian (axa N – S) şi al

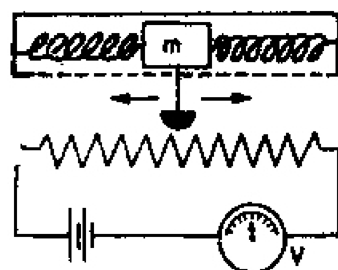


Fig. 32-1

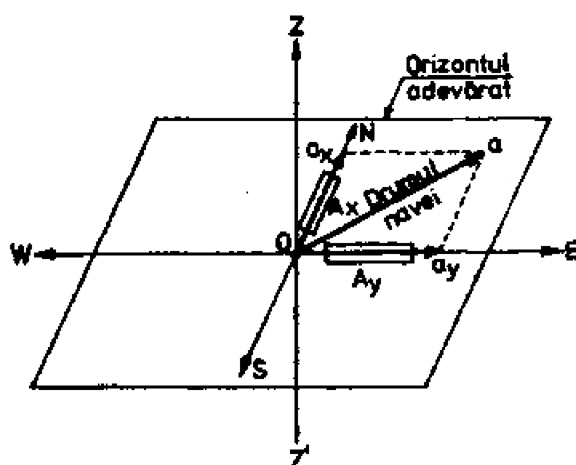


Fig. 32-2

doilea pe direcţia E – W, care măsoară continuu componentele a_x şi a_y ale acceleraţiei *a* pe cele două axe (fig. 32-2). Menţinerea în orizont a axelor de sensibilitate ale celor două accelerometre face ca acceleraţia gravitaţiei să nu modifice mărimile celor două componente ale acceleraţiei produse de navă.

Prin integrarea succesivă a semnalelor electrice a_x şi a_y de două ori, se obţine viteza navei – din prima integrare şi spaţiul s parcurs de navă într-un anumit interval de timp, din cea de a doua.

Accelerometrele măsoară *acceleraţia absolută* la care sunt supuse elementele sensibile la bordul navei, fără a fi capabile să distingă natura acceleraţiilor componente, astfel că pentru calculul diferenţelor de coordonate Δ_φ şi Δ_λ trebuie să se ţină seama de *acceleraţia lui Coriolis* – datorită rotaţiei terestre, precum şi acceleraţia centrifugă determinată de traiectoria urmată de navă pe suprafaţa Pământului. De asemenea, în cazul scoaterii accelerometrelor din planul orizontului adevărat pentru un anumit interval de timp, măsurătorile efectuate conţin şi componentele gx şi gy pe cele două axe ale acceleraţiei gravitaţiei.

Pentru a se asigura precizia necesară, sistemul dispune de dispozitive automate de eliminare a acestor influenţe conţinute de acceleraţia absolută măsurată de accelerometre, astfel că la integratoarele de poziţie se transmit doar componentele a_x şi a_y ale acceleraţiei navei în raport cu Pământul, considerat fix.

2 Platforma stabilizată

Platforma stabilizată este constituită dintr-un sistem de giroscoape, inele cardiace şi servomotoare; ea are funcţia de a menţine accelerometrele în planul orizontului adevărat, orientate pe axele de referinţă menţionate, eliminând mişcarea de rotaţie terestră, abaterile de la drum ale navei, precum şi mişcările de ruliu şi tangaj. Se poate spune că platforma stabilizată a navigatorului inerţial este cel mai perfect orizont artificial realizat până în prezent.

Sistemul cuprinde trei giroscoape X, Y şi Z cu două grade de libertate, platforma P ce constituie elementul stabil şi totodată primul inel al suspensiei cardanice, un al doilea inel cardanic A care susţine platforma P şi este prevăzut cu doi pivoţi orientaţi pe axa y, precum şi un al treilea inel orizontal B ce susţine întregul dispozitiv prin intermediul a doi pivoţi conţinuţi în axa x (fig. 32-3).

Axele giroscoapelor X şi Y sunt limitate la o rotaţie în plan orizontal, paralele cu cel al platformei P, iar axa giroscopului Z este limitată în plan vertical, perpendicular pe cel al platformei. Cele trei giroscoape au funcţia de a comanda servomotoarele M_1, M_2 şi M_3, care acţionează rotirea inelelor cardanice în jurul x, y, z, realizând astfel orientarea platformei P în orizont, precum şi a axei x în meridianul locului pe direcţia N – S şi a axei y pe direcţia E – W.

Realizarea navigatorului inerţial a fost condiţionată de folosirea unor giroscoape cu deviaţii minime. Eforturile pentru perfecţionarea giroscoapelor clasice au fost îndreptate îndeosebi spre îmbunătăţirea suspensiei, astfel ca frecările să fie limitate la valori extrem de mici. Soluţia adoptată în ultimii ani pentru reducerea forţelor de frecare în lagărele giroscoapelor este lubrificaţia cu gaze. Astfel s-a realizat sustentaţia giroscopului prin lubrificaţie cu gaze sub presiune şi prin lubrificaţie gazodinamică; deviaţia acestor giroscoape s-a redus la performanţa impresionantă de ordinul a câteva miimi de grad pe oră.

Menţinerea cu rigurozitate a platformei în orizont, orientată pe direcţia nord, constituie condiţia de *eroare zero* a sistemului. Pe timpul navigaţiei însă, verticala

locului și orizontul adevărat se schimbă continuu, nava este supusă unor mișcări de ruliu și tangaj, abateri de la drum etc., astfel că se realizează o *dezaliniere* a giroscoapelor concomitentă cu acestea, în raport cu poziția inițială de eroare zero.

Revenirea la condiția de eroare zero se realizează prin rotirea giroscopului dezaliniat în jurul axei pe care o dovedește *(x, y, z)* cu o cantitate egală și de sens

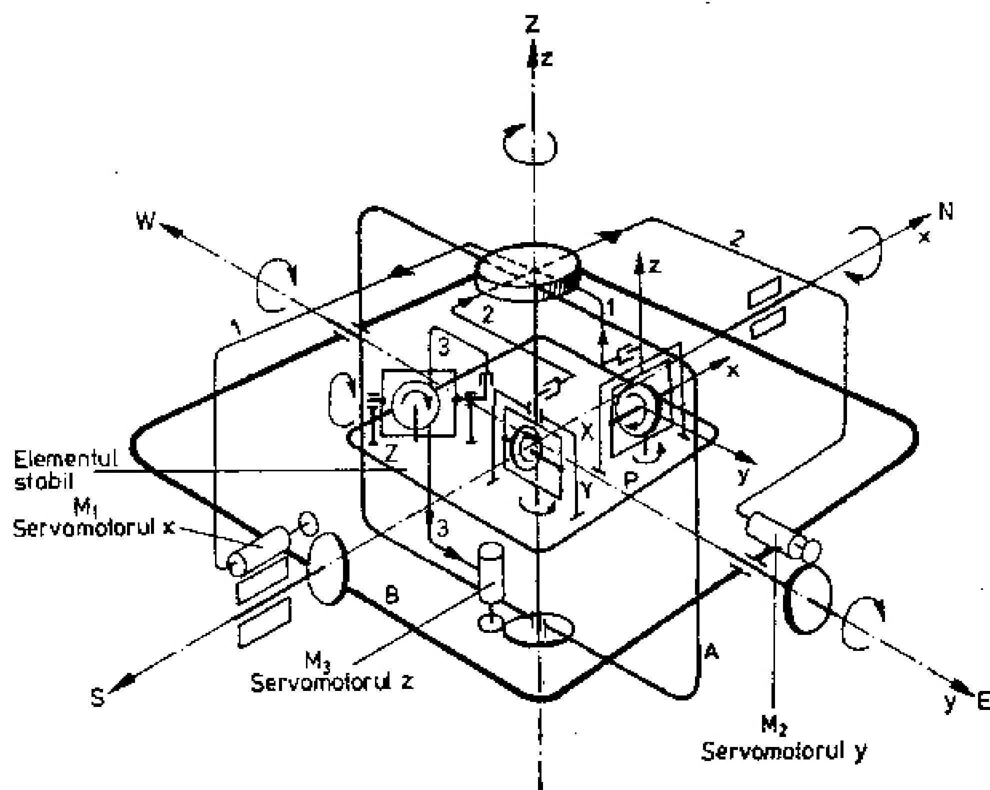


Fig. 32-3

contrar cu abaterea ce a produs dezalinierea. Rotirea platformei, în acest scop, se realizează de către servomotoarele M_1, M_2, M_3, câte unul pentru fiecare axă *x, y, z,* care sunt alimentate cu semnale electrice produse de giroscoapele corespunzătoare, pe timpul dezalinierii lor, prin intermediul circuitelor 1, 2 și respectiv 3. Semnalele electrice și deci servomecanismele își încetează acțiunea de îndată ce sistemul a revenit în poziția de eroare zero, deci platforma este stabilizată în orizontul adevărat al locului, cu axa *x* pe direcția nord și axa *y* pe direcția est-vest.

3 Calculatorul electronic

Calculatorul electronic folosit la navigatorul inerțial are următoarele funcții principale: rezolvă ecuațiile de navigație pentru determinarea și afișarea continuă a poziției navei; contribuie la alinierea platformei stabilizate (orientarea în orizont, cu axa *x* pe direcția N – S și axa *y* pe direcția E – W); calculează și aplică corecțiile de adus sistemului.

Utilizarea cea mai frecventă o are *calculatorul numeric,* compus, în principal, din blocul de memorie, care înregistrează informațiile primite și cel operațional, cu

funcţia de execuţie a calculelor matematice. Blocul de memorie primeşte informaţiile de la accelerometre sub forma unor impulsuri electrice, a căror variaţie de potenţial este proporţională cu acceleraţia măsurată. Blocul operaţional rezolvă succesiv integralele exprimate de ecuaţiile (32-3) şi (32-5) pentru calculul vitezei şi respectiv a spaţiului parcurs de navă în intervalul *dt*. Soluţionarea ecuaţiilor (32-6) asigură determinarea continuă a coordonatelor poziţiei navei.

Calculatorul are de asemenea funcţia de a colecta şi analiza informaţiile primite de la giroscoape pentru alinierea platformei stabilizate; momentele cuplurilor de precesie ale giroscoapelor sunt *raportate* calculatorului, care în urma analizei efectuate comandă funcţionarea celor trei servomotoare pentru alinierea platformei pe cele trei axe.

§4 Particularităţile navigatorului inerţial folosit în marină. Câteva cuvinte despre instalaţia tip SINS-NAVDAC

Calităţile funcţionale şi performanele solicitate unui anumit tip de navigator inerţial sunt determinate de genul de vehicul pentru care este destinat – navă maritimă de suprafaţă, submarin, avion, navă cosmică, rachetă etc. Realizarea acestui sistem a devenit posibilă numai după obţinerea unor progrese remarcabile în tehnologia de fabricaţie a elementelor ce îl alcătuiesc – giroscoape, accelerometre, calculatoare electronice etc., precum şi găsirea unor soluţii constructive care să satisfacă unele cerinţe de bază – siguranţă în funcţionare, precizie, dimensiuni şi greutate redusă (îndeosebi la navele cosmice, avioane) etc.

Calităţile constructive ale navigatorului inerţial folosit în marină sunt determinate de particularităţile cerinţelor la bordul navei:

– durata navigaţiei este mare, de ordinul zilelor şi săptămânilor, dar cu posibilitatea corectării periodice a erorilor cumulate prin integrarea cu alte sisteme de navigaţie bazate pe observaţie;

– condiţiile de gabarit şi greutate sunt mai puţin restrictive decât la bordul altor tipuri de vehicule, astfel că se pot folosi giroscoape cu moment cinetic foarte mare, precum şi mijloace suplimentare de calcul şi compensare a erorilor proprii sistemului, care contribuie considerabil la realizarea unor performanţe deosebite de siguranţă în funcţionare şi precizie. Deviaţia unor asemenea giroscoape poate atinge performanţe chiar de ordinul zecimilor de miimi de grad pe oră, ceea ce reprezintă o precizie de ordinul zecilor de metri pe timpul unei ore de navigaţie. Cercetările în curs, îndeosebi cele care vizează realizarea giroscoapelor cu tor sferic, deschid calea spre performanţe superioare;

– regimul de şocuri şi vibraţii, precum şi valorile acceleraţiilor la bordul navelor maritime sunt considerabil mai reduse;

– la bordul navelor maritime de suprafaţă, sistemul este chemat să rezolve problema de poziţie doar pe două canale de calcul, pentru determinarea latitudinii şi longitudinii, spre deosebire de celelalte tipuri de vehicule, la care se impune un al treilea canal pentru calculul altitudinii (imersiunii). Această particularitate permite o simplificare constructivă, precum şi creşterea gradului de precizie.

Figura 32-4 redă schema de principiu a *navigatorului inerțial SINS-NAVDAC* (denumire rezultată din suma inițialelor expresiei „*S*hip *I*nertial *N*avigation *S*ystem – *N*avigation *D*ata *A*ssimilation *C*omputer").

El cuprinde cele trei părți principale descrise în principiu mai sus: platformă stabilizată, accelerometrele și calculatorul numeric.

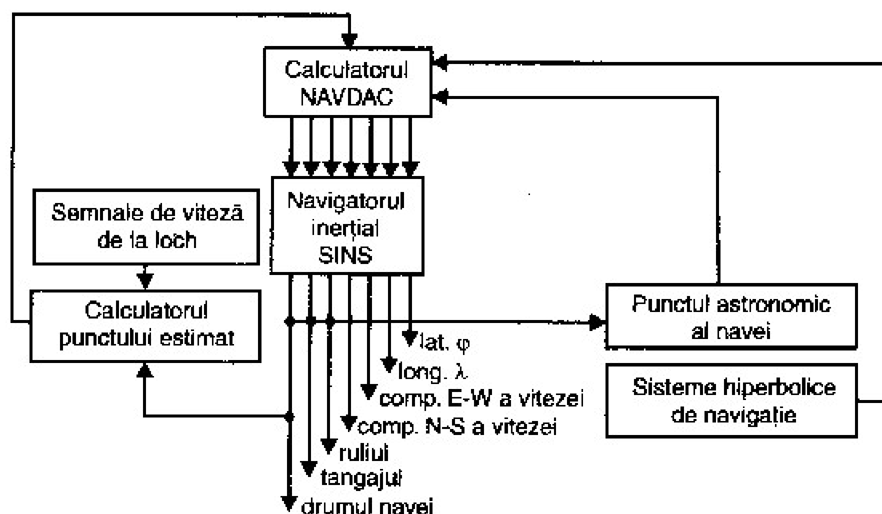


Fig. 32-4

Stabilizarea platformei este controlată prin intermediul a trei giroscoape cu două grade de libertate (în care se include și mișcarea de rotație a torului în jurul axei proprii), precum și a calculatorului numeric, care analizează informațiile primite de la giroscoape și comandă sitemul de servomecanism pentru alinierea continuă a platformei.

Instalația folosește două accelerometre susținute de platforma stabilizată, ale căror axe de sensibilitate măsoară componentele accelerației navei pe direcția N–S și respectiv E–W.

Calculatorul electronic transformă semnalele electrice primite de la accelerometre în variații de latitudine $d\varphi$ și de longitudine $d\lambda$, pe care le însumează algebric la coordonatele punctului inițial (φ_1 λ_1), pentru a determina și afișa continuu poziția navei.

Înainte de plecarea din port, în timp util, se asigură alinierea și stabilizarea platformei în orizont și pe direcția nord adevărat; de asemenea se introduc coordonatele punctului inițial, în raport de care urmează să se determine poziția navei pe timpul navigației.

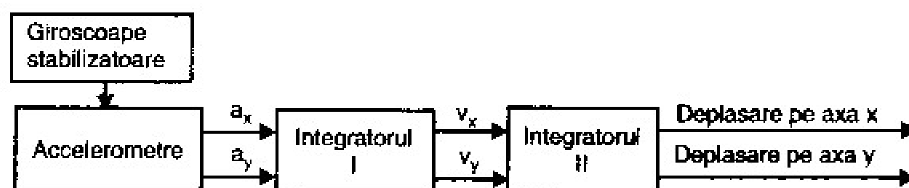


Fig. 32-5

Figura 32-5 prezintă schema principiului de calcul folosită de navigatorul inerțial SINS-NAVDAC.

Pentru controlul preciziei și eliminarea erorilor acumulate în timp, navigatorul inerțial SINS-NAVDAC poate fi folosit într-un sistem integrat cu mijloace de navigație electronică (decca, loran și omega), precum și de navigație astronomică (vezi fig. 32-4).

§5 Analiza sistemului inerțial

Pentru o succintă analiză a sistemului inerțial, considerăm Pământul de formă sferică, imobil, fără a fi animat deci de mișcarea de rotație și o navă care pleacă din punctul A (φ_1, λ_1) de-a lungul meridianului în drum nord (fig. 32-6). La plecare, platforma stabilizată este aliniată în orizontul adevărat al punctului A, cu axa x pe

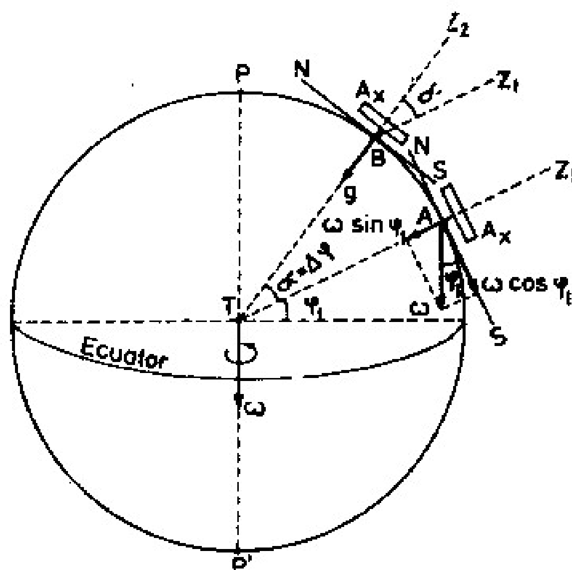


Fig. 32-6

direcția N–S și axa y pe direcția E–W; pe timpul navigației, ea trebuie să-și mențină continuu această aliniere, în acest caz, platforma având de executat o mișcare de rotație în jurul axei E–W egală cu aceea a verticalei locului.

Presupumen că nava se deplasează din A în B ($\varphi 2$, $\lambda 2$), unghiul dintre verticalele celor două locuri fiind α. În acest caz, accelerația pe axa E–W indicată de accelerometrul A_y este nulă ($a_y = 0$), iar cea de pe direcția meridianului măsurată de accelerometrul A_x este:

$$a_x = R\frac{d^2\alpha}{dt^2}$$

unde R este raza sferei terestre. Accelerația a_x integrată de două ori determină distanța AB, măsura arcului AB fiind egală cu unghiul α și respectiv cu diferența de latitudine $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$.

Dacă platforma se menține orientată continuu în orizont, componenta orizontală a accelerației gravitației este nulă; dacă această condiție nu este satisfăcută și platforma, de exemplu, la sosirea în B se menține perpendiculară pe verticala Z_1 a punctului A, făcând unghiul α față de orizontul punctului B (fig. 32-7), accelerația absolută măsurată de accelerometrul A_x conține și componenta orizontală a accelerației gravitației, de valoare $- g \sin \alpha$, care pentru unghiuri mici poate fi considerată egală cu $- g\alpha$.

În cazul general, când nava urmează un drum oarecare în afara meridianului sau a paralelului locului, pentru menținerea continuă a alinierii, platforma stabilizată trebuie să execute o miscare corespunzătoare de rotație în jurul ambelor axe (N–S și E–W) ale orizontului. Dacă această condiția nu este satisfăcută și platforma nu este

orientată în orizont la un moment dat, accelerometrele A_x şi A_y măsoară acceleraţiile absolute:

$$a_x = \frac{d^2x}{dt^2} + g_x$$

$$a_y = \frac{d^2y}{dt^2} + g_y$$

unde $\frac{d^2x}{dt^2}$ şi $\frac{d^2y}{dt^2}$ reprezintă componentele acceleraţiei a produsă de navă, iar g_x şi g_y – componentele gravitaţiei pe axele x şi y. Componentele g_x şi g_y iau, în general,

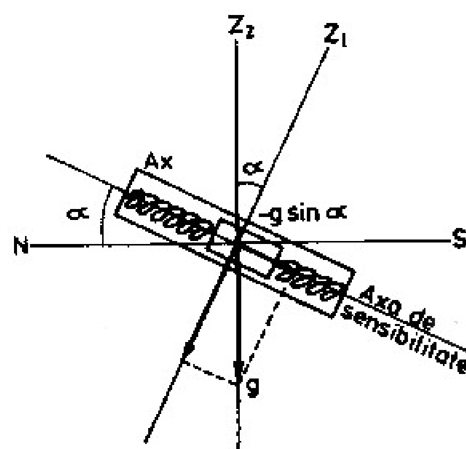


Fig. 32-7

valori mici; mărimile lor se determină de calculatorul numeric, care se transmit la accelerometre sub formă de corecţii, valorile respective fiind transformate în forţe echivalente prin intermediul unor traductoare.

Considerând mişcarea de rotaţie ω a Pământului în jurul axei sale (fig. 32-6), platforma din punctul A mai este supusă la încă două mişcări de rotaţie în raport cu cele două axe (vezi cap. 4, § 2): componenta vitezei unghiulare ω în jurul axei N–S, de valoare $\omega \cos \varphi_1$ şi componenta în jurul axei E–W, de mărime $\omega \sin \varphi_1$.

De asemenea, menţinerea alinierii platformei impune eliminarea influenţei *acceleraţiei lui Coriolis* şi a *acceleraţiei centrifuge;* considerând componenta V_N a vitezei navei pe meridian şi V_E – pe paralelul locului, corecţiile pe cele două axe x şi y ale sistemului pentru influenţele celor două acceleraţii sunt exprimate de relaţiile:

Corecţia acceleraţiei pe:	Axa x	Axa y
Componenta acceleraţiei lui Coriolis:	$2\, V_N \omega \sin \varphi$	$2\, V_E \omega \sin \varphi$
Componenta acceleraţiei centrifuge:	$V_N \frac{V_E}{R} \operatorname{tg} \varphi$	$\frac{V_E^2}{R} \operatorname{tg} \varphi$

Aceste mărimi sunt calculate de calculatorul numeric și transmise la accelerometre sub formă de corecții. Factorul tg φ conduce la necesitatea limitării în navigație a acestui sistem la latitudini maxime de 80°; la latitudini superioare, eroarea cauzată de accelerația centrifugă ia valori mari, devenind infinit de mare în polii geografici. La alte tipuri de navigatori inerțiali, la care sistemul de aliniere a accelerometrelor se realizează pe alte baze decât la cel naval prezentat succint mai sus, nu se impune o asemenea limitare. Pentru navigația maritimă însă, calotele polare limitate de paralelul de 80° nu prezintă nici un interes practic.

Sistemul asigură de asemenea aplicarea automată a unei corecții pentru influența formei Pământului, considerat ca elipsoid de rotație.

PARTEA A ȘAPTEA
Navigația în zone cu maree
Traversade

Navigația în zone cu maree.
Traversade. Navigația ortodromică

PART VII
Tides and tidal streams
Ocean passages

33 NAVIGAŢIA ÎN ZONE CU MAREE

§1 Generalităţi

Mareele sunt oscilaţii periodice verticale ale nivelului apelor mărilor deschise şi oceanelor, produse sub acţiunea combinată a forţelor de atracţie ale Lunii şi Soarelui, precum şi ca o consecinţă a mişcărilor de rotaţie şi revoluţie ale Pământului şi Lunii.

Fenomenul de ridicare a nivelului apei, însoţit de un transport însemnat de apă pe orizontală, se numeşte *maree înaltă, flux* sau *creşterea mareei.* Scăderea nivelului şi retragerea apei este denumită *maree joasă, reflux* sau *căderea mareei.*

Nivelul maxim al apei la flux se numeşte *apă înaltă,* iar cel minim la reflux, *apă joasă;* diferenţa de nivel dintre apa înaltă şi apa joasă imediat următoare reprezintă *amplitudinea mareei.*

Înălţimea nivelului apei la un moment dat deasupra nivelului de referinţă al sondajelor din harta marină se numeşte *înălţimea mareei.*

Deplasările orizontale ale apei sub acţiunea forţelor de atracţie ale Lunii şi Soarelui dau naştere *curenţilor de maree.*

Atât variaţia nivelului apei pe timpul mareei, cât şi curenţii de maree, prezintă un interes deosebit pentru navigaţia în zonele în care se manifestă acest fenomen.

Fenomenul mareelor este deosebit de complex: *mareea teoretică* explicată pe baza legilor mecanicii diferă uneori considerabil de *mareea efectivă* dintr-o anumită zonă, ca urmare a influenţei reliefului fundului mării, a reflexiei coastei etc. În cele ce urmează ne propunem să prezentăm doar acele aspecte legate de fenomenul mareelor, care îl interesează pe navigatorul de cursă lungă în rezolvarea problemelor specifice în asemenea zone, cu ajutorul documentaţiei folosite la bordul navelor noastre maritime.

§2 Mareele teoretice. Noţiuni asupra formării mareelor

Din cele mai vechi timpuri omul a asociat fenomenul mareelor de fazele Lunii, adică de poziţiile relative ale Soarelui şi Lunii în raport cu Pământul. Explicaţia fenomenului aparţine lui *Newton,* pe baza *legii atracţiei universale* şi a *legilor lui Kepler* (vezi cap. 17, §2), care definesc mişcarea Pământului în jurul Soarelui, precum şi a Lunii în jurul planetei noastre.

Forţele care produc mareele sunt în funcţie de masele Pământului, Lunii şi Soarelui, de distanţele care le separă, de poziţiile lor relative, precum şi de declinaţia Soarelui şi a Lunii. Potrivit *legii atracţiei universale,* forţa de atracţie dintre două corpuri cereşti este direct proporţională cu produsul maselor lor şi invers proporţională cu pătratul distanţei ce le separă. De aceea, deşi masa Lunii este considerabil

mai mică decât masa Soarelui, ea are o acțiune preponderentă în formarea mareelor, datorită distanței incomparabil mai mici față de Pământ. Mareele produse de Lună sunt în medie de 2,73 ori mai înalte decât cele determinate de Soare.

1 Mareea lunară

Pentru a vedea modul de acțiune a Lunii în formarea mareelor, se presupune Pământul ca o sferă înconjurată de un strat de apă de densitate omogenă și că Luna execută mișcarea sa de revoluție în jurul Pământului în planul ecuatorului (fig. 33-1); PP' reprezintă axa polilor tereștri.

Considerând masa Lunii M, iar distanța de la centrul T al Pământului la centrul Lunii egală cu 60 de raze terestre, rezultă că forța de atracție exercitată asupra unei particule de masă unitară este proporțională cu:

$\frac{M}{60^2} = \frac{M}{3600}$, dacă particula se află în T și practic aceeași pentru orice punct situat pe cercul mare $PCP'D$, normal la direcția Pământ-Lună;

$\frac{M}{59^2} = \frac{M}{3481}$ și $\frac{M}{61^2} = \frac{M}{3721}$, dacă particula este plasată în A, față de care Luna este la zenit și respectiv în B, la nadir.

Diferența dintre forțele de atracție aplicate în T, respectiv de-a lungul cercului $PCP'D$ și în A, este deci proporțională cu:

$$M\left(\frac{1}{3481} - \frac{1}{3600}\right) = M \times 0.00000949;$$

iar dintre cele aplicate în T, respectiv de-a lungul cercului mare $PCP'D$ și în B, proporțională cu:

$$M\left(\frac{1}{3600} - \frac{1}{3721}\right) = M \times 0.00000903.$$

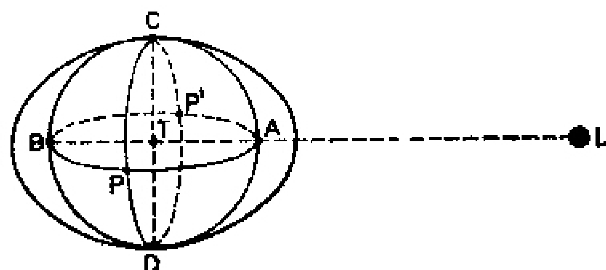


Fig. 33-1

Forța gravitațională exercitată deci de Lună asupra unei particule de apă de pe suprafața acestui Pământ ipotetic crește de la o anumită valoare de-a lungul cercului mare $PCP'D$, la o mărime maximă în A (care corespunde distanței minime la Lună) și scade la o valoare minimă în B, punctul terestru cel mai depărtat de satelitul nostru.

Forțele generatoare de maree iau naștere prin însumarea acestei diferențe a forței gravitaționale, ce se exercită asupra diferitelor particule de apă, cu forța centri-

fugă de la suprafaţa Pământului în jurul centrului de greutate al sistemului Pământ-Lună. Se constată că de-a lungul cercului mare *PCP'D* se realizează un echilibru între forţa de atracţie şi forţa centrifugă. În punctele cuprinse în emisfera *APCP'D*, mai aproape de Lună, forţa de atracţie a Lunii are o acţiune preponderentă: în emisfera *BPCP'D*, forţa centrifugă are o acţiune preponderentă faţă de cea de atracţie.

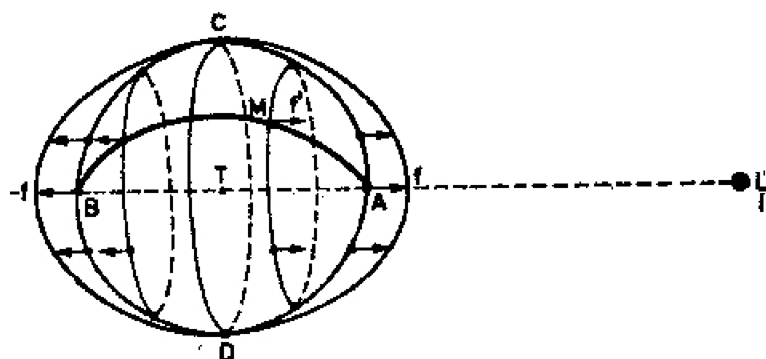


Fig. 33-2

Datorită forţelor generatoare de maree, apa de la suprafaţa acestui *Pământ ipotetic* ia forma unui elipsoid de revoluţie, a cărui axă mare este orintată pe direcţia Lunii. În *A*, de unde Luna se vede la zenit, ia naştere o maree înaltă, numită *maree lunară;* în *B*, ia naştere de asemenea o maree înaltă, denumită *maree antilunară.* Dimpotrivă, de-a lungul cercului mare *PCP'D* care determină meridianul *PCP'* şi antimeridianul *PDP'*, faţă de care Luna se află la orizont, ia naştere o *maree joasă lunară.*

Distribuţia forţelor generatoare de maree la suprafaţa Pământului ipotetic descris mai sus este cu aproximaţie cea prezentată în fig. 33-2.

Se observă că singurele poziţii în care forţa generatoare a mareei acţionează pe direcţia normalei la suprafaţa Pământului sunt *A* şi *B*. În toate celelalte puncte, forţa generatoare a mareei poate fi descompusă în două componente: *o componentă verticală* orientată perpendicular pe suprafaţa Pământului în punctul considerat şi o *componentă orizontală* în direcţia punctelor *A* şi *B*, care determină deplasarea apei spre aceste zone de maree înaltă lunară şi antilunară.

Considerând practic forţele generatoare de maree aplicate în diferitele puncte de pe suprafaţa Pământului acţionând pe o direcţie paralelă cu *TL*, dat fiind distanţa considerabilă la Lună şi mărimea acestei forţe în *A* egală cu f, respectiv cu $-f$, în *B*, într-un punct oarecare *M*, unde distanţa zenitală a Lunii este z, forţa generatoare a mareei $f' = f \cos z$; ea este maximă în *A*, unde $z = 0°$ şi zero pe cercul mare CD, unde $z = 90°$. Suma forţelor generatoare de maree care acţionează în emisfera *ACD*, expusă spre Lună, este egală şi de sens contrar cu suma aceloraşi forţe din emisfera *BCD*, opusă Lunii; rezultanta forţelor generatoare a mareelor de la suprafaţa Pământului este deci zero, fără nici un efect asupra mişcării pe orbita sa.

Efectul mişcării diurne a Lunii. Dacă Pământul şi Luna ar fi relativ staţionare, ar avea loc o maree înaltă lunară permanentă în *A* şi respectiv antilunară în *B* (fig. 33-1), precum şi o maree joasă lunară de-a lungul meridianelor *PCP'* *şi PDP'*. Ca urmare a mişcării de rotaţie a Pământului în jurul axei sale şi a mişcării de revoluţie a Lunii în

jurul planetei noastre, conformându-se primelor două legi ale lui Kepler, Luna execută o mişcare completă în jurul axei lumii în timp de o *zi lunară*, egală în medie cu 24^h48^m timp solar mediu (vezi cap. 17, § 4); pentru facilitarea discuţiei, menţinem presupunerea că acestă mişcare se produce în planul ecuatorului ceresc (fig. 33-3).

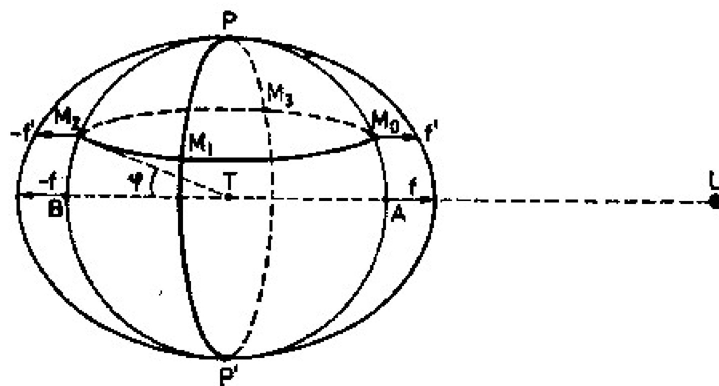


Fig. 33-3

Să analizăm acum varianta forţei generatoare a mareei f' într-un punct M, de latitudine φ, în poziţiile succesive pe care acesta le ocupă în mişcarea diurnă faţă de Lună. În timpul unei *zile lunare*, punctul M ocupă succesiv faţă de Lună poziţiile M_0, ..., M_1, M_2, M_3, ..., M_0. În M_0 şi M_2, când planul meridianului locului se confundă cu planul cercului orar al Lunii, deci când Luna se află la culminaţie, forţa generatoare de maree f' este maximă; când planul meridianului punctului M este perpendicular pe planul cercului orar al Lunii (în M_1 şi M_3), forţa generatoare de maree este zero. Rezultă că, în timpul unei zile lunare, forţa generatoare de maree în punctul M are o variaţie armonică, de formă cosinusoidală, aşa cum se arată în figura (33-4), unde intervalul de timp este exprimat în timp solar mediu.

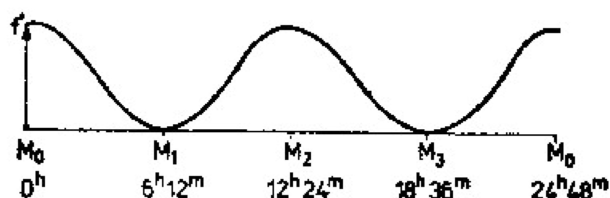


Fig. 33-4

O asemenea forţă generatoare de maree care în timpul unei zile lunare prezintă două maxime şi două minime, egale între ele, se numeşte *semidiurnă*. Când Luna are declinaţia zero, aşa cum s-a arătat în figura 33-3, forţele generatoare de maree sunt de tipul semidiurn la toate latitudinile.

2 Mareea solară

Pe baza unor considerente analoge, se explică mareea generată sub acţiunea forţei de atracţie a Soarelui. În punctul de pe suprafaţa Pământului unde Soarele se află la zenit ia naştere o *maree solară*, iar în cel de la nadir, o *maree antisolară*. De-a lungul cercului mare terestru perpendicular pe direcţia Soarelui se formează o *maree joasă solară*.

3 Mareea lunisolară

Sub influența acțiunii însumate de atracție a Lunii și a Soarelui asupra particolelor de apă de la suprafața Pământului ia naștere *mareea lunisolară*. Faptul că pozițiile relative ale Lunii, Pământului și Soarelui, care dau naștere fazelor Lunii se schimbă continuu, are drept consecință o variație continuă a forțelor generatoare de

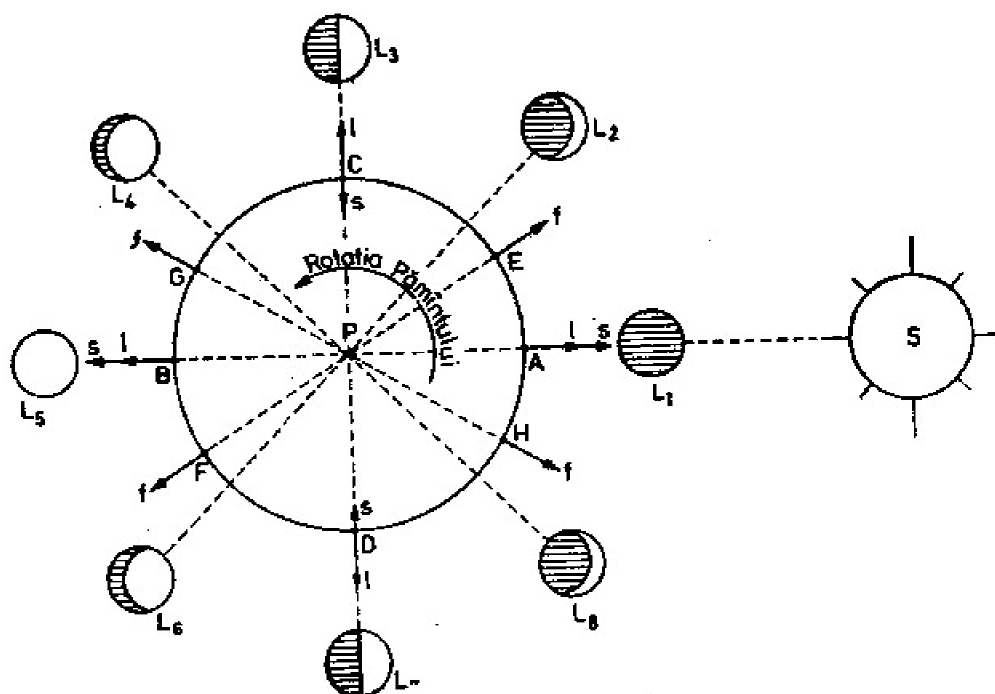


Fig. 33-5

maree dintr-un anumit punct de pe suprafața Pământului. Pentru a ilustra modul de acțiune comună a Lunii și Soarelui în formarea mareelor, păstrăm ipoteza formulată mai sus privind Pământul și se consideră că Luna și Soarele se mențin în planul ecuatorului ceresc, la distanța medie față de Pământ. În figura 33-5 reprezentăm Pământul în planul ecuatorului, având polul nord proiectat în *P*, Soarele pe direcția *S*, iar Luna în pozițiile succesive L_1, L_2..., L_8, prezentând diferitele ei faze.

Să analizăm mai întâi acțiunea comună a Soarelui și Lunii în formarea mareelor la fazele principale.

La *Lună nouă* și la *Lună plină*, când Luna se află în L_1 la conjuncție cu Soarele și respectiv în L_5, *la opoziție*, forțele generatoare de maree lunară *l* și solară *s* sunt concomitente. Astfel se produce o *maree înaltă lunisolară* în *A* și *B* (determinată de suma forțelor generatoare de maree lunară *l* și solară *s*), denumită *maree de sizigii;* în *C* și *D* se formează o maree joasă lunisolară.

Pe timpul mișcării de rotație a Pământului în sens direct (văzută din polul nord), toate locurile situate de-a lungul unui meridian și la antemeridian *au mareea de sizigii simultan*, în momentul culminației Lunii și Soarelui la meridianul locului. În ipoteza admisă, că Luna și Soarele se mențin în planul ecuatorului ceresc, amplitudinea mareei este maximă la ecuatorul terestru și descrește cu creșterea latitudinii.

Când Luna se află la *cuadratură*, la *primul pătrar* în L_2 și la *ultimul pătrar* în L_7, axa mare a *elipsoidului mareei lunare* orientată pe direcția *CD* este perpendiculară pe axa mare a *elipsoidului mareei solare*, de direcție *AB*. La aceste faze ale

Lunii, mareele înalte lunare coincid deci cu mareele joase solare şi invers. Ca urmare a acţiunii comune a Lunii şi Soarelui se produce o *maree înaltă lunisolară* în C şi D datorită acţiunii preponderente a forţei generatoare de maree lunară l, numită *maree de cuadratură;* amplitudinea mareei de cuadratură este de circa 4/7 din amplitudinea *mareei înalte lunare.* În A şi B se formează o *maree joasă lunisolară,* de o amplitudine mai mare decât *mareea joasă lunară.*

Mareea de cuadratură se produce în momentul culminaţiei superioare sau inferioare a Lunii la meridianul locului.

Din cele arătate mai sus rezultă următoarele concluzii importante:

– mareele de sizigii şi de cuadratură se produc odată cu culminaţia superioară sau inferioară a Lunii. Deci, *ora apei înalte la sizigii şi la cuadratură este egală cu ora culminaţiei Lunii;*

– mareele de sizigii au amplitudini mari, ca urmare a faptului că forţele generatoare ale mareei lunare şi solare se însumează;

– mareele de cuadratură au o amplitudine redusă, deoarece acţiunea Soarelui se opune celei lunare, acţiunea Lunii fiind preponderentă.

Variaţia înălţimii apei între mareea de sizigii şi mareea de cuadratură următoare se numeşte *inegalitate în amplitudine.*

În zilele intermediare dintre sizigii *(Luna nouă* şi *luna plină)* şi cuadraturi *(luna la primul* şi *ultimul pătrar),* axele mari ale elipsoidului mareei lunare şi solare formează unghiuri diferite; din acţiunea comună a celor doi aştri ia naştere un elipsoid de maree lunisolară a cărei axă mare este orientată pe o direcţie rezultantă, cuprinsă între direcţiile la Lună şi Soare, mai apropiată însă de cea a Lunii ca urmare a forţei ei de atracţie preponderente.

Astfel, când Luna se află în L_2, la *primul octant,* forţa generatoare de maree lunisolară f şi deci axa mare a elipsoidului de maree lunisolară rezultat este orientată pe o direcţie *PE;* ia naştere astfel o o maree înaltă lunisolară în E şi F, de o amplitudine mai redusă decât a mareei de sizigii şi mai mare decât a celei de cuadratură. Mareea joasă lunisolară se produce de-a lungul meridianelor determinate de planul cercului mare perpendicular pe direcţia *PE.*

Când Luna se află la L_6, la al *treilea octant,* axa mare a elipsoidului de maree lunisolară este orientată pe o direcţie IPFI (de sens opus lui *PE);* ia astfel naştere o maree înaltă lunisolară în F şi E.

Când Luna se află în L_4 şi L_8, la al *doilea* şi, respectiv, la *ultimul octant,* axa mare a elipsoidului de maree lunisolară este orientată pe direcţia *PG* şi respectiv *PH,* generând o maree înaltă lunisolară în G şi H.

Mareele înalte lunisolare din intervalul dintre sizigii şi cuadraturi într-un anumit loc au o anumită amplitudine de o valoare intermediară faţă de cea a mareei la sizigii şi la cuadraturi. Amplitudinea mareei înalte într-un anumit loc are o reducere progresivă zilnică, de la sizigii la cuadraturi, deci între *Luna nouă* şi *primul pătrar,* precum şi între *Luna plină* şi *ultimul pătrar;* dimpotrivă, amplitudinea mareei înalte creşte progresiv în intervalul de timp de la *primul pătrar* la *Lună plină* şi de la *ultimul pătrar* la *Lună nouă.*

4 Anticiparea şi întârzierea mareelor. Inegalitatea de fază

Orele mareelor înalte la sizigii şi cuadraturi sunt egale cu orele culminaţiei superioare şi inferioare a Lunii la meridianul locului.

Considerând mişcarea de rotaţie a Pământului, respectiv, mişcarea aparentă diurnă a Soarelui şi Lunii în jurul Pământului în intervalul dintre *Lună nouă* şi *primul pătrar*, la un anumit meridian, în decursul unei zile lunare apare următoare succesiune de fenomene (fig. 33-5): culminaţia Soarelui, mareea înaltă şi apoi culminaţia Lunii. Mareea înaltă la meridianul locului precede deci culminaţia Lunii; fenomenul se numeşte *anticiparea mareei*. Acelaşi fenomen se petrece şi în intervalul dintre *lună plină* şi *ultimul pătrar*.

În intervalul de timp dintre *primul pătrar* şi *Lună plină*, precum şi între *ultimul pătrar* şi *Lună nouă*, mareea înaltă se produce după culminaţia Lunii la meridianul locului; fenomenul se numeşte *întârzierea mareei*.

Intervalul de timp cu care mareea înaltă anticipează sau întârzie faţă de momentul culminaţiei Lunii la meridianul locului se numeşte *inegalitate de fază*. Acest interval de timp creşte în primele zile după sizigii sau cuadraturi, atinge o valoare maximă după 3–4 zile, după care scade, devenind zero la următoarea cuadratură sau sizigie. valoarea maximă a inegalităţii de fază este de $\pm 44^m$, în ipoteza că raportul dintre mareea solară şi cea lunară este 1/2.73.

Ora apei înalte la un meridian oarecare poate fi deci calculată din relaţia: *ora apei înalte = ora culminaţiei Lunii + inegalitatea de fază*. În această relaţie, inegalităţii de fază i se dă următorul semn:

– pozitiv, în cazul *întârzierii mareei*, deci între *primul pătrar* şi *Lună plină*, precum şi între *ultimul pătrar* şi *Lună nouă;*

– negativ, în cazul *anticipării mareei*, între *Lună nouă* şi *primul pătrar*, precum şi între *Lună plină* şi *ultimul pătrar*.

5 Efectul declinaţiei Lunii şi a Soarelui. Inegalitatea diurnă

În consideraţiile făcute mai sus s-a presupus că Luna şi Soarele se menţin în mişcările lor aparente în jurul Pământului în planul ecuatorului ceresc. Declinaţia Soarelui variază însă între 0° şi ± 23°27′, iar declinaţia Lunii între 0° şi 23°27′ ± 5°09′.

Înclinarea axelor mari ale elipsoizilor de maree lunară şi solară faţă de planul ecuatorului ceresc, de unghiuri diferite, egale cu declinaţiile celor doi aştri, generează efacte specifice în formarea mareelor.

Pentru a explica efectul declinaţiei Lunii în formarea mareei lunare, în figura 33-6 considerăm o secţiune meridiană a *Pământului ipotetic* presupus mai sus, PP' fiind axa polilor, qq' ecuatorul terestru.

Când Luna se află în L_1, având declinaţia nordică egală cu $<L_1OQ'$, în punctele A şi B, de aceeaşi latitudine φ, iau naştere două maree înalte de amplitudini diferite, AM_1 şi respectiv BR_1; dacă Luna ar fi fost în planul ecuatorului ceresc, de declinaţie zero, amplitudinea mareei în cele două puncte A şi B ar fi fost egală.

După un interval de timp egal cu jumătatea unei zile lunare (circa 12^h24^m timp mediu), Luna ocupă o poziţie L_2, de unde determină un elipsoid de maree lunară cu axa mare pe direcţia OL_2; în punctul A mareea înaltă generată are amplitudinea $AM_2 < AM_1$, iar în punctul B, cea reprezentată de $BR_2 > BR_1$.

În punctele diametral opuse A_1 şi B_1, de aceeaşi latitudine însă de semn contrar, se produc efecte analoge: când Luna se află în L_1, amplitudinea mareei înalte

este A_1A_1'' în A_1 și B_1B_1' în B_1; după o jumătate de zi lunară, Luna fiind în L_2, amplitudinea mareei înalte este $A_1A_1' < A_1A_1'$, în A_1 și $B_1B_1' > B_1B_1'$ în B_1.

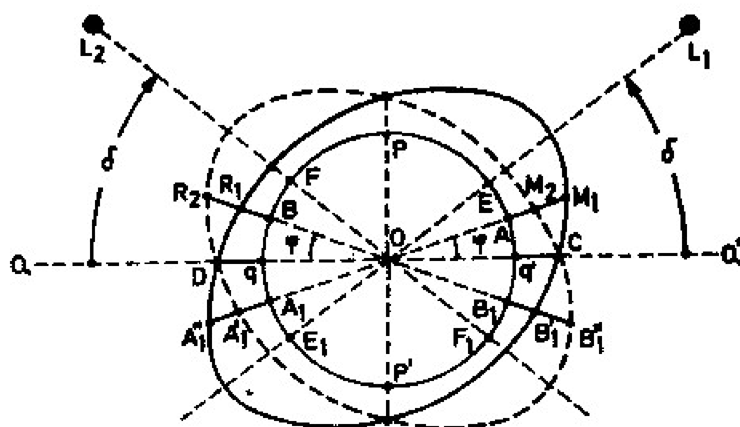


Fig. 33-6

Declinația Lunii produce deci o *inegalitate diurnă lunară* în amplitudinea mareei, reprezentată de diferențele: $AM_1 - AM_2$, $BR_2 - BR_1$, $A_1A_1'' - A_1A_1'$ și $B_1B_1' - B_1B_1'$. Din figura 33-6 rezultă că:

– în punctele situate pe ecuatorul terestru *inegalitatea diurnă* nu se manifestă. La culminația superioară și inferioară a Lunii la meridianul locului, pe ecuatorul terestru în punctele q și q' iau naștere două maree de aceeași amplitudine $qD = q'C$;

– inegalitatea diurnă a mareei este maximă în punctele terestre care au Luna la zenit *(E* și *F)* și la nadir *(*E_1 și F_1*)*.

Declinația Soarelui determină și ea o *inegalitate diurnă solară* în amplitudinea mareelor, de valori mai mici decât cea lunară, pentru o aceeași mărime a declinției celor doi aștri.

6 Efectul variației distanței la Lună și Soare. Inegalitatea anomalistică

În cele arătate mai sus s-a considerat că orbitele mișcărilor aparente ale Lunii și Soarelui în jurul Pământului sunt circulare, deci că distanțele la cei doi aștri se mențin aceleași. În realitate, mișcarea Lunii în jurul Pământului și a planetei noastre în jurul Soarelui au loc pe orbite elipse, potrivit primelor două legi ale lui Kepler (vezi cap. 17, § 2).

Ca urmare, Luna se află la distanță maximă de Pământ la *apogeu* și la cea minimă, la *perigeu* (vezi cap. 17, § 3).

Astfel, forța de atracție a Lunii variază în timpul unei revoluții siderale (27.3 zile) de la o valoare maximă, când Luna se află la perigeu, la o valoare minimă, când aceasta se găsește la apogeu; sub influența variației distanței la Soare, mareea înaltă are o amplitudine mai mare la periheliu decât la afeliu.

Variația amplitudinii mareei determinată de variația distanței de la Pământ la Lună și, respectiv, la Soare, se numește *inegalitate anomalistică sau paralactică.*

Variația distanței la Lună poate cauza diferențe în forța generatoare de maree lunară de 15% – 20%; în cazul Soarelui, această variație este de aproximativ 3%.

7 Concluzii asupra mareelor teoretice

Mareele teoretice generate de diferitele forțe la suprafața *Pământului ipotetic,* sferic și acoperit complet cu apă, se pot determina cu multă precizie pe baza cunoștințelor despre mișcările Lunii și ale Pământului. Astfel, se pot calcula *prevederile mareei teoretice,* a orei și a înălțimii mareei pentru orice punct de la suprafața Pământului ipotetic, pentru o zi oarecare în viitor.

Axa mare a elipsoidului de maree lunisolară se menține pe direcția Lunii sau în apropierea acesteia, pe timpul mișcării ei diurne, dat fiind acțiunea sa preponderentă în formarea mareelor. În fiecare punct de la suprafața Pământului ipotetic se produc două maree înalte în momentul culminației Lunii la meridianul superior și la cel inferior sau în apropierea acestui moment (funcție de inegalitatea de fază), separate de un interval de timp aproximativ egal cu o jumătate de zi lunară (12^h24^m timp solar mediu); în intervalul dintre mareele înalte se formează câte o *maree joasă,* urmând la circa 1/4 de zi lunară (6^h12^m timp solar mediu) după mareea înaltă.

În timpul unei zile lunare se formează deci două maree înalte și două maree joase, care se intercalează între cele dintâi, o maree înaltă (joasă) fiind urmată deci de una joasă (înaltă) la un interval de aproximativ 1/4 de zi lunară (6^h12^m timp solar mediu). O astfel de maree se numește *semidiurnă.*

§3 Mareele efective. Tipuri de maree

Mareele efective de la suprafața mărilor deschise și a oceanelor Pământului în majoritatea lor, se deosebesc considerabil față de *mareele teoretice* prezentate mai sus. Producerea și propagarea diferită a mareelor este cauzată, în principal, de distribuția neregulată a oceanulor și a continentelor, de formele topografice submarine, de adâncimea diferită a apei, de forma și orientarea coastei etc.

Mareele efective cele mai apropiate de cele *teoretice* au loc de-a lungul Oceanului Austral, între paralelul de latitudine 50°S și coastele Antarctidei, datorită extinderii considerabile a acestei zone oceanice în jurul Pământului și a adâncimilor mari. La suprafața acestui ocean *unda de maree* urmărește Luna și Soarele în mișcarea lor diurnă, de la est la vest și determină formarea mareei înalte aproape simultan în toate punctele situate pe același meridian.

În celelalte oceane, *unda de maree primară* se reflectă la întâlnirea continentelor, dând naștere unor *unde secundare,* a căror propagare în continuare este deternimată de o serie de factori zonali, geografici, topografici și hidrometeorologici. Diversitatea influențalor acestor factori face ca *mareele efective* să prezinte manifestări caracteristice de la un loc la altul pe suprafața Pământului, iar în același loc se observă variații în timp ca urmare îndeosebi a factorilor astronomici. Cunoașterea particularităților mareelor în locurile care prezintă interes, pe baza unor observații

locale îndelungate și aplicarea legilor fundamentale ale *mareelor teoretice*, dau posibilitatea rezolvării problemelor legate de *prevederea mareelor*, activitate deosebit de importantă pentru practicarea navigației, exploatarea porturilor maritime etc.

Forțele generatoare de maree formează unde de maree de amplitudini reduse la suprafața oceanelor adânci, care se propagă spre coastă și intră pe estuare și râuri. Pe măsură ce adâncimea apei scade, amplitudinea undei de maree crește; amplificarea continuă în cazul în care propagarea ei se extinde pe estuare și râuri, care de regulă se îngustează odată cu depărtarea de mare. Amplitudinea mareei la suprafața oceanelor este mai mică de 1 m, atinge valori până la 6 m la apropierea de coastă și crește considerabil în golfuri, estuare și pe râuri.

Câteva valori numerice ale amplitudinii mareelor în diferite locuri ale globului sunt edificatoare: 15 m la Saint Malo, 16 m în estuarul Severn, 18 m în Strâmtoarea Magellan și 20 m în Baia Fundy (Scoția Nouă), cea mai înaltă maree semnalată.

În *mările închise* cu o suprafața relativ restrânsă, amplitudinea mareelor este în general redusă. Astfel, în Marea Mediterană, cu excepția coastei de nord a Africii unde se face simțită unda de maree transmisă din Atlantic prin Strâmtoarea Gibraltar, cu amplitudini maxime sub 2 m, variația nivelului apei este neînsemnată. În Marea Neagră, variația nivelului apei generată de maree este în jur de 10 cm, practic rămânând neobservată.

Propagarea undei de maree pe fluvii, estuare și canale prezintă uneori forme caracteristice. În anumite condiții, îndeosebi în porțiunile cu albii înalte și nivel scăzut al apei la mareea joasă, unda de maree transmisă de la mare înaintează zgomotos sub forma unei bare cu partea frontală abruptă și spumegândă, atingând înălțimi până la câtiva metri; fenomenul poartă denumirea de „*mascaret*" pe râurile franceze, „*bore*" în Anglia și „*proroca*" pe Amazon. Viteza lor de propagare poate să atingă valori de 20–22 Nd; confruntarea cu un asemenea *val de maree* pe fluviile maritime, pe timpul staționării la ancoră sau în navigație, impune măsuri deosebite de precauție.

Amplitudinea mareei descrește pe măsură ce unda înaintează pe fluviu și se anulează la extremitatea așa-numitei părți a acestuia. Nivelul apei la mareea îanltă este mai ridicat pe fluviu decât la gura acestuia; diferența de nivel este cu atât mai accentuată, cu cât adâncimea apei la gura fluviului este mai redusă.

Pe timpul mareei înalte, într-un anumit loc pe un fluviu, din punct de vedere al curentului se pot întâlni trei situații: curentul normal spre mare se menține, cu o viteză redusă; apa este staționară pentru un anumit timp; în cazul unor maree înalte cu amplitudini mari, sensul curentului este în cel al undei, spre amonte.

Unda de maree se poate propaga pe fluvii la distanțe apreciabile de mare. Astfel, pe Gange, mareea se manifestă până la 160 de mile de mare, iar pe Amazon la 250 de mile – cu amplitudini ce ating valoarea de 9 m.

Factorii meteorologici sunt în măsură să influențeze apreciabil amplitudinea mareei. Astfel, diferența de presiune dintre două zone maritime învecinate poate determina creșterea nivelului apei unde presiunea este mai mică și scăderea nivelului în zona de presiune mai mare. De asemenea, când vântul suflă spre coastă și îndeosebi spre golfuri, nivelul apei poate crește apreciabil; dimpotrivă, nivelul apei scade când vântul bate de la coastă spre larg. Această influență este scoasă în evidență de

înălțimea apei înalte și joase, față de nivelul de referență *(nivelul zero hartă)*, măsurată în portul Bremerhaven, în diferite condiții de vânt, astfel:

– pe calm:

– apa înaltă = + 3.6 m;

– apa joasă = 0 m;



Fig. 33-7

– vânt N – NW (spre coastă), forța 10–11:

– apa înaltă = + 6.3 m;

– apa joasă = + 2.4 m;

– vânt SE (spre larg), forța 8–10:

– apa înaltă = + 1.2 m;

– apa joasă = – 2.0 m.

Formele caracteristice ale mareelor în diferite locuri de pe glob, determinate îndeosebi de numărul apelor înalte și joase dintr-o zi lunară, precum și de mărimea inegalităților de fază, diurne și anomalistice, au dat posibilitatea grupării acestora în trei tipuri: *semidiurne, diurne* și *mixte.*

Mareele semidiurne prezintă în timpul unei zile lunare, alternativ, două maree înalte și două maree joase, la un interval de aproximativ 1/4 de zi lunară (6^h12^m timp mediu), de o amplitudine egală sau aproximativ egală între ele (fi. 33-7). Mareele semidiurne produse între orele 0^h și 12^m se numesc *maree de dimineață*, iar cele dintre orele 12^h–24^h, *maree de după-amiază.*

Mareele din majoritatea locurilor de pe glob sunt de tipul semidiurn și ating cele mai mari amplitudini; ele se întâlnesc de-a lungul coastelor de vest ale Europei, ale Angliei și Irlandei, precum și pe coasta de est a Americii de Nord.

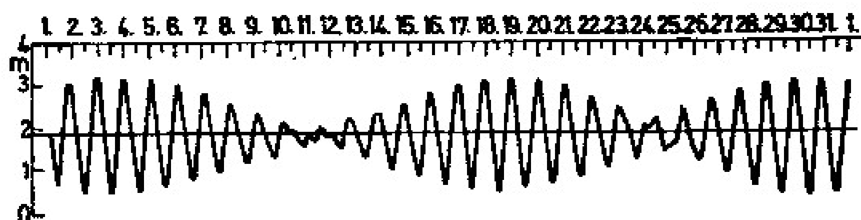


Fig. 33-8

Mareele diurne produc o singură maree înaltă și una joasă în timpul unei zile lunare (fig. 33-8). Ele sunt determinate de existența unor inegalități diurne considerabile, sub efectul declinației lunii și a Soarelui, care în anumite condiții astronomice și geografice fac ca mareele semidiurne să se transforme în maree diurne.

Zonele geografice în care mareele sunt de tipul diurn sunt mult mai restrânse decât cele cu maree semidiurne; astfel, ele se pot întâlni pe coastele Golfului Mexic, coasta de sud a Golfului Sf. Laurențiu, Golful Aden și Golful Persic.

În cazul *mareelor mixte* se produc alternativ două maree înalte și două maree joase, ca și la mareele semidiurne, prezentând însă importante inegalități în amplitudine și de fază (fig. 33-9).

Mareele mixte apar ca un rezultat al influenței inegalităților diurne, care iau valori diferite la intervale de timp apropiate, ca urmare a variației declinației Lunii și a Soarelui. Mareele mixte sunt predominante în anumite zone costiere ale Australiei, pe coasta de est a Asiei, precum și a insulelor din apropiere.



Fig. 33-9

Merită să se rețină însă faptul că, în același loc, mareele pot fi de tipuri diferite, schimbându-și caracterul la anumite intervale de timp; fenomenul este mai frecvent îndeosebi în zonele unde se manifestă mareele de tipul mixt și diurn.

Observând curbele cu variația nivelului apei în diferite locuri și ținând seama de fazele Lunii, de declinația Lunii și a Soarelui, precum și de paralaxa acestor aștri (în funcție de care variază inegalitățile anomalistice), se trag următoarele concluzii:

– amplitudinea mareei scade de la o valoare maximă la sizigii la una minimă cu cuadraturi;

– când Luna și Soarele se află în planul ecuatorului ceresc sau în apropierea acestuia, deci când declinația lor este zero sau foarte mică, mareele înalte și joase consecutive au aceeași amplitudine sau aproape aceeași, ca urmare a inexistenței inegalităților diurne sau a unor valori neînsemnate a lor. Diferența lor de amplitudine se amplifică pe măsura creșterii declinației Lunii și a Soarelui;

– amplitudinea mareelor este mai mare când Luna este la perigeu decât atunci când este la apogeu, ca urmare a efectului inegalităților anomalistice.

Se observă însă că factorii locali, geografici și topografici, pot avea uneori acțiuni preponderente față de cei astronomici, în formarea și propagarea mareelor.

Vârsta mareei. Studiul variației nivelului apei în diferite locuri cu maree arată că apa cea mai înaltă sau cea mai joasă apare cu o anumită întârziere față de momentul astronomic când forța generatoare a mareei atinge valoarea maximă. Astfel, în situație când Luna este la conjuncție sau opoziție cu Soarele, când cei doi aștri se află în planul ecuatorului ceresc și Luna la perigeu, respectiv pământul la periheliu, determinând deci forța generatoare de maree maximă, se constată că mareea cu amplitudinea cea mai mare urmează după un anumit interval de timp, care de la un loc la altul poate lua valori de la câteva ore la câteva zile. În mod similar, mareea de amplitudine minimă are loc după un anumit interval de timp de la primul sau ultimul pătrar.

Această întârziere în producerea mareei efective, fața de momentul astronomic când ia naștere forța ei generatoare, se numește *vârsta mareei,* care se datorește configurației coastei.

La mareele semidiurne, *vârsta mareei* se definește ca intervalul de timp dintre momentul conjuncției sau opoziție Lunii cu Soarele și momentul apariție *apei înalte*. La mareele diurne, vârsta mareei se consideră egală cu intervalul de timp dintre momentul declinației maxime a Lunii și momentul apei înalte maxime.

Valoarea medie a vârstei mareei pe glob se consideră egală cu o zi și jumătate.

Față de cele arătate mai sus la §2, p. 4 privind mareele teoretice, trebuie reținut deci că sub influența configurației coastei, mareea înaltă *anticipează* sau *întârzie* față de momentul culminației Lunii, cu un interval de timp egal cu inegalitatea de fază, decalat cu o cantitate egală cu vârsta mareei pentru locul considerat. În concluzie, într-un anumit loc, mareea înaltă nu anticipează momentul culminației Lunii numai până la primul sau ultimul pătrar, ci fenomanul se prelungește cu un interval de timp egal cu vârsta mareei; de asemenea, mareea înaltă se produce cu întârziere față de momentul culminației Lunii și după *Luna nouă* sau *Luna plină*, cu un interval de timp egal cu *vârsta mareei* în locul respectiv.

§4 Terminologia folosită în navigație

Terminologia folosită în navigație referitoare la maree este foarte variată și de aceea ea trebuie precis definită în scopul eliminării confuziilor, cât și a uniformizării. La bordul navelor noastre maritime comerciale se utilizează documentația nautică engleză privind mareele și curenții de maree. În cele ce urmează se redau termenii de maree folosiți în navigația, în limba română, cât și corespondenții în limba engleză, împreună cu abreviațiile utilizate în *hărți, table de maree, cărți pilot* etc. (fig. 33-10).

Apă înaltă, A.I. *(high water, H.W.)*. Nivelul maxim al apei atins la *mareea înaltă (rise)*.

Apa joasă, A.J. (low water, L. W.). Nivelul minim al apei la *mareea joasă (fall)*.

Amplitudinea mareei (range of the ride). Diferența de nivel dintre apa înaltă și apa joasă imediat următoare.

Maree de sizigii (spring tides). Mareele (tides) care se produc după *Lună nouă* sau *Luna plină* la un interval de timp egal cu *vârsta mareei (age of the tide)*.

Maree de cuadratură (niep tides). Mareele care se produc după *primul* și *ultimul pătrar* la un interval de timp egal cu *vârsta mareei*.

Nivelul de referință al sondajelor sau *nivelul zero hartă (chart datum)*. Este nivelul mării față de care se indică adâncimile (sondajele) în hărțile marine. Față de acesta se exprimă, de asemenea, *nivelurile mareelor (fidal levels)*, cât și înălțimile diferitelor elemente de relief care periodic sunt acoperite cu apă sau apar la suprafața ei, odată cu oscilațiile verticale ale nivelului apei; astfel, în figura 33-10 *„înălțimea de uscare" (drying height)* a elementului de relief *R* se exprimă în raport cu *nivelul zero hartă*.

Prin înțelegeri internaționale s-a convenit ca *nivelul zero hartă* să fie stabilit astfel ca nivelul apei să nu coboare „în mod frecvent" sub acesta.

Înălțimea mareei (height of the side). Înălțimea apei la un moment dat deasupra *nivelului zero hartă*. Înălțimea mareei reprezintă corecția ce trebuie aplicată adâncimii indicată în hartă în punctul unde se află nava pentru a obține adâncimea apei în momentul considerat. Această corecție este pozitivă când nivelul mareei este

deasupra *nivelului zero hartă;* în situațile excepționale când nivelul mareei este sub *nivelul zero hartă,* corecția este negativă.

Adâncimea indicată în hartă într-un anumit loc se obține scăzând *înălțimea mareei* din adâncimea măsurată cu sonda (sondaj). Această operațiune se impune

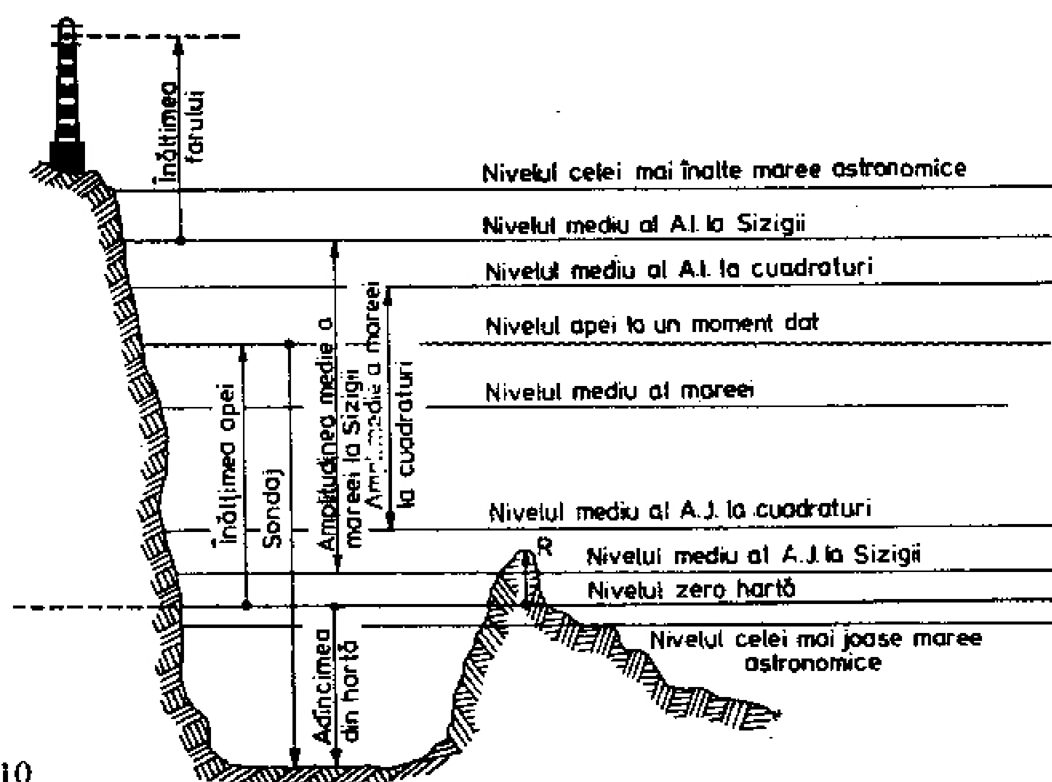


Fig. 33-10

când sondajele indicate în hartă se folosesc pentru a se obține indicii asupra poziției navei (vezi cap. 10, §3, p. 5).

Nivelul mediu al apei (mean water level). Nivelul mediu al apei la un anumit stadiu al mareei, determinat într-un anumit loc pe baza unor serii de observații; astfel, funcții de stadiul mareei la care se efectuează stabilirea nivelului mediu se disting (fig. 33-10):

– *nivelul mediu al apei înalte la sizigii (mean high water springs,* M.H.W.S.);

– *nivelul mediu al apei joase la sizigii (mena low water springs,* M.L.W.S.);

– *nivelul mediu al apei înalte la cuadratură (mean high water neaps,* M.H.W.N.);

– *nivelul mediu al apei joase la cuadratură (mean low water neaps,* M.L.W.N.).

Diferența *nivelurilor medii ale apei,* așa cum au fost definite mai sus determină *amplitudinea medie a mareei,*astfel:

– *amplitudinea medie a mareei de sizigii (mean spring range);*

– *amplitudinea medie a mareei de cuadratură (mean neap range).*

Nivelul mediu al mării (mean level, M.L.). Nivelul mediu al mării dintr-un anumit loc determinat ca medie a *nivelurilor apei;* se folosește în mările cu maree de amplitudine redusă.

Nivelul zero hartă se exprimă în funcție de diferite niveluri ale mareei, astfel:

– în hărțile engleze, *nivelul zero hartă* este de regulă *nivelul mediu al apei joase la sizigii* (M.L.W.S.). Rezultă că în aceste hărți, în general, adâncimea apei este mai mare decât adîncimea indicată în hartă și numai în cazuri rare ea poate fi puțin inferioară celei conținute în hartă;

– în hărțile sovietice și franceze, *nivelul zero hartă* este *nivelul celei mai joase maree joase*, ceea ce înseamnă că adâncimea apei este întotdeauna mai mare decât cea indicată în hartă.

Nivelul zero hartă este menționat sub *titlul hărții*.

În mările în care mareele au o amplitudinea redusă, adâncimile indicate în hartă sunt raportate la nivelul mediu al mării; astfel sunt întocmite, de exemplu, hărțile marine din Baltică.

Nivelul de referință a înălțimilor (datum for heights). Este planul față de care se exprimă înălțimile indicate în hărțile marine și, în general, în documentația nautică. În documentația engleză înălțimea farurilor și a celorlalte repere de navigație este exprimată față de *nivelul mediu al apei înalte la sizigii*. Alegerea acestui nivel de referință asigură ca *bătaia farurilor*, înscrisă în hărți și cartea farurilor, să fie cel puțin egală cu cea observată de navigator pe mare.

Maree echinocțiale (equinoctial springs). Mareele de sizigii care se produc în apropierea echinocțiilor de primăvară și toamnă. Sunt *mareele semidiurne (semidiurnal tides)* care au cea mai mare amplitudine.

Maree tropice (tropical springs). Mareele de sizigii care se produc când declinația Lunii este maximă; acestea sunt *mareele diurne (diurnal tides)* de maximă amplitudine, deoarece *inegalitățile diurne (diurnal inequalities)* sunt maxime. Denumirea de *„tropice"* derivă de la faptul că Luna are declinația maximă când se află pe sfera cerească în apropierea *tropicului* Racului sau Capricornului.

Potrivit informației conținute în B.N.A. – 1973 (pag. 560), „Departamentul Hidrografic al Angliei" urmează să folosească *nivelul celei mai joase maree astronomice* ca *nivel zero hartă* pentru hărțile marine din zona insulelor engleze.

Cea mai joasă maree astronomică (lowest astronomical tide, L.A.T.); *cea mai înaltă maree astronomică (highest astronomical tide,* H.A.T.). Este cea mai joasă, respectiv cea mai înaltă maree, funcție de factorii astronomici previzibili și condițiile meteorologice medii locale.

În cazul utilizării nivelului *celei mai joase maree astronomice* ca *nivel zero hartă*, înseamnă că în condiții meteorologice normale, adâncimile din zona de navigație sunt superioare celor indicate în hartă.

§5 Prevederea mareelor. Procedee aplicate în navigație

1 Metoda armonică de prevedere a mareelor

A. *Principiul metodei*

Mareea teoretică se poate stabili cu anticipație pe baza cunoștințelor despre mișcare Lunii în jurul Pământului și a Pământului în jurul Soarelui, prin determinarea rezultantei forțelor generatoare de maree lunară și solară.

Metoda armonică de prevedere a mareelor se bazează pe substituirea forțelor de atracție exercitate de Lună și Soare, în mișcările lor eliptice față de Pământ, în plane diferite de cel al ecuatorului ceresc, prin forțe gravitaționale generate de niște *sateliți fictivi.* Aceste corpuri cerești fictive, de mase diferite, sunt animate de mișcări uniforme pe orbite circulare în jurul Pământului, în planul ecuatorului ceresc; fiecare din acești sateliți fictivi generează o undă de *maree simplă,* ale cărei caracteristici sunt constante pentru același loc. Astfel, mareea produsă într-un loc oarecare poate fi imaginată ca fiind rezultanta unui anumit număr de asemenea *unde de maree simple,* produse de corpuri cerești care gravitează în jurul pământului (în mod arătat mai sus).

Fiecare undă simplă, în care se descompune unda de maree, este numită *undă componentă* sau *componentă.*

Perioadele de revoluție și vitezele orare ale sateliților fictivi, generatori ai undelor componente de maree, se calculează funcție de elementele reale determinate de mișcările Lunii în jurul Pământului și ale Pământului în jurul Soarelui. De asemenea, elementele constante ale undelor componente pentru un anumit loc se determină funcție de caracteristicile *mareei efective,* stabilite pe baza unor observații îndelungate.

Astfel, pe baza mișcărilor reale ale Pământului și Lunii, pentru fiecare satelit fictiv se calculează:

– *perioada de revoluție* și *viteza orară* (în grade) în jurul pământului, în planul ecuatorului ceresc;

– unghiul orar al satelitului fictiv măsurat de la meridianul superior la Greenwich, numit *argument astronomic la Greenwich E,* exprimat în grade.

Pe baza caracteristicilor mareei efective dintr-un anumit loc stabilite prin observații, pentru fiecare undă componentă generală de un anumit satelit fictiv se determină:

– *semiamplitudinea H față de nivelul mediu al mareei* Z_0, care reprezintă înălțimea maximă a undei componente în momentul *apei înalte* parțiale generată de satelitul fictiv respectiv;

– *întârzierea de fază g,* care este intervalul exprimat în grade între momentul culminației satelitului fictiv la meridianul locului și momentul în care se produce *apa înaltă* parțială sub acțiunea aceluiași satelit*.

Pentru a vedea care este acțiunea unui anumit satelit fictiv *L* în generarea undei componente, într-un loc *A* de longitudine zero, considerăm ecuatorul terestru *QQ'* văzut din polul nord *P* (fig. 33-11 a); *PQ* reprezintă deci meridianul locului *A*. Dacă *PL* este direcția în momentul considerat la satelitul *L*, care gravitează uniform pe o orbită circulară în planul ecuatorului ceresc în jurul Pământului, presupus fix, rezultă că unghiul *QPL* este *argumentul astronomic E* (egal cu unghiul orar la Greenwich).

Dacă *întârzierea de fază g,* în același moment, este egală cu unghiul *LPQ''*, înseamnă că unda componentă acționează pe direcția *PQ''*, ce face $\sphericalangle QPQ'' = E - g$ față de meridianul locului. Presupunând vectorul *PF* proporțional cu *semiampli-*

---

* *Întârziere de fază g,* în aplicarea procedeului, conține două corecții: o corecție de longitudine a *argumentului astronomic E,* funcție de viteza orară a satelitului fictiv față de cea a *Soarelui mediu,* care este de 15°; o corecție pentru longitudinea fusului, pentru a obține ora fusului mareei (respectiv ora legală).

tudinea H a undei componente produsă de *L* în locul *A*, rezultă că proiecția acestuia *Y* pe meridianul locului, dată de relația:

$$Y = H \cos (E - g) \qquad (33\text{-}1)$$

exprimă înălțimea apei mareei parțiale generată de satelitul fictiv, în momentul dat.

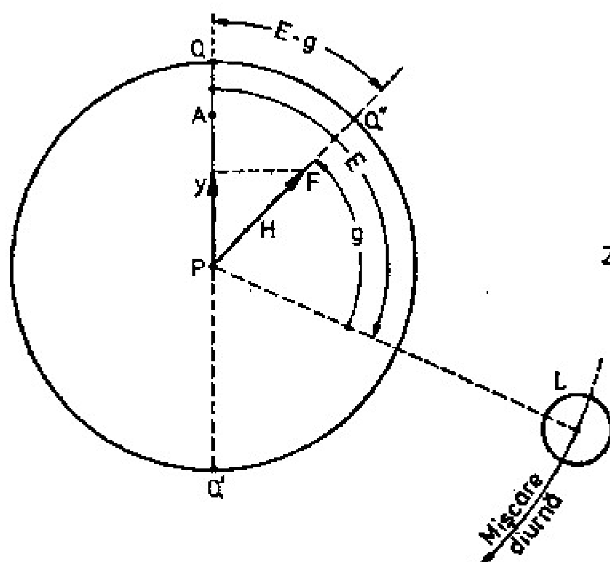


Fig. 33-11 a

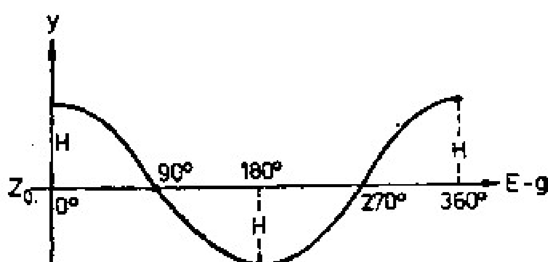


Fig. 33-11 b

Imaginându-ne că vectorul *PF* urr ărește satelitul fictiv în mișcarea sa diurnă în jurul Pământului, cu o *întârziere de fază g* constantă, rezultă că proiecțiile *Y* reprezintă înălțimile apei în raport cu nivelul mediu al mareei Z_0 în timpul unei perioade de revoluție a acestuia în jurul Pământului. Înălțimea apei *Y* este pozitivă când unghiul $E - g < 90°$, respectiv $E - g > 270°$ (deci proiecția se face pe meridianul *PQ*); ea este negativă când unghiul $E - g$ ia valori între 90° și 270° (proiecția se face pe antimeridianul *PQ'*). Variația înălțimii apei în raport cu nivelul Z_0 este dată de cosinusoida din figura 33-11 b.

În concluzie, unda componentă determinată de un satelit fictiv oarecare are o oscilație armonică, cosinusoidă, în jurul nivelului mediu al mareei Z_0, a cărei înălțime *Y* ia o valoare maximă pozitivă pentru $E - g = 0°$ și maxămă negativă pentru $E - g = 180°$, egală în valoare absolută cu semiamplitudinea *H*. Când $E - g = 0°$, și respectiv, 270°, înaălțimea apei *Y* este nulă și nivelul apei se confundă cu nivelul mediu Z_0.

Semiamplitudinea H și *întârzierea de fază g* se numesc *constantele armonice* ale undei componente într-un anumit loc.

Constantele armonice se obțin din curba care reprezintă variația înălțimii nivelului mareei efective dintr-un anumit loc, înregistrată cu *maregraful* într-o perioadă suficient de lungă; această curbă se descompune în *curbe elementare armonice*, reprezentând *undele componente*, fiecare din ele având o semiamplitudine și o perioadă proprie. Operațiunea se numește *analiză armonică a mareei.*

Componentele armonice.

În cadrul analizei armonice a mareei dintr-un anumit loc se determină perioadele diferitelor *unde componente* pe baza legilor astronomice după care se produc atracțiile Soarelui și Lunii; semiamplitudinile și întârzierile de fază ale acelorași unde componente se stabilesc prin analiză armonică a înregistrării *mareei efective* cu *maregraful.*

În rândul undelor componente se disting:

– *unde componente principale,* care exprimă acțiunea Soarelui și Lunii în generarea mareelor, considerând că cei doi aștri gravitează cu o viteză constantă în jurul Pământului, în planul ecuatorului, pe orbite circulare, la distanța medie;

– *unde componente secundare,* care exprimă variațiile declinației Lunii și Soarelui (numite *componente declinaționale),* variațiile paralaxiei *(componente eliptice* sau *anomalistice)* și alte particularități în mișcarea celor doi aștri, menite să corecteze componentele principale.

Fiecare undă componentă este desemnată printr-un simbol specific format din una sau două litere și o cifră, cu următoarele semnificații: *M,* unde generate de Lună („Moon"); *S,* generate de Soare („Sun"); 2, pentru *unde componente semidiurne* (adică se produc două ape înalte într-o zi); 1, pentru *componente diurne* (adică se produce o singură apă înaltă pe zi) etc.

Undele componente de mai mare importanță sunt următoarele:

a – componenta lunară semidiurnă principală (M_2), generată de Lună (care se consideră că gravitează în jurul Pământului în condițiile arătate mai sus), cu o perioadă egală cu 1/2 zi lunară ($12^h24^m = 12^h.42$ timp mediu), deci cu o viteză orară

$$v = \frac{360^\circ}{12^h.42} = 28^\circ.98;$$

b – componenta solară semidiurnă *principală (S_2),* generată de Soare, cu o perioadă egală cu 1/2 zi solară (12^h) și o viteză orară $v = \frac{360^\circ}{12^h} = 30^\circ$;

c – componenta lunară eliptică semidiurnă (N_2), care reprezintă o corecție ce trebuie adusă componentei M_2, funcție de variația distanței Lunii (determinată de mișcarea pe orbita sa eliptică în jurul Pământului), față de distanța medie. Perioada $12^h.66$, viteza orară $28^\circ.44$;

d – componenta lunisolară declinațională semidiurnă (K_2), corecție ce trebuie adusă componentelor precedente pentru variația declinației Lunii. Perioada $11^h.97$, viteza orară $30^\circ.08$;

e – componenta lunisolară declinațională diurnă (K_1), corecție ce trebuie adusă componentelor M_2 și S_2 pentru variația declinației Soarelui și a Lunii. Perioada $23^h.93$, viteza orară $15^\circ.04$;

f – componenta lunară declinațională diurnă (O_1), determinată de variația declinației Lunii, perioada $25^h.82$, viteza orară $13^\circ.94$;

*g – componenta solară declinațională diurnă (P_1),*generată de variația declinației Soarelui, periaoda $24^h.97$, viteza orară $14^\circ.96$.

Undele componente enumerate mai sus sunt generate de factori astronomici. Componentele importante de natură fizică, determinate îndeosebi de forțele de frecare ale apei în zonele de adâncime redusă, în golfuri, estuare, râuri sau porturi, care trebuie luate în considerar, sunt:

h – componenta de supramaree cuadrodiurnă a undei M_2 (simbolul M_4), determinată de acțiunea fundurilor mici asupra mareei, care face ca unda M_2 să nu aibă o formă armonică regulată. Perioada $6^h.21$, viteza orară $57^\circ.9$;

– *unda compusă a lui M_2 și S_2 cuadrodiurnă* (simbolul MS_4), având perioada $6^h.19$, viteza orară $58^\circ.98$.

Pentru o analiză armonică completă trebuie să se țină seama de o serie de alte unde componente, determinate de factori astronomici, geografici, topografici sau

meteorologici, cu acțiune constantă sau periodică (cazul musonilor). Numărul undelor componente utilizate este funcție de complexitatea *mareei efective*, în practica metodei variind de la cele nouă componente enumerate la 62.

Metoda armonică pentru prevederea mareelor constă în principiu din:

– determinarea *undelor componente* pe baza constantelor armonice;

– însumarea undelor componente într-o *undă rezultantă*, din care se obțin orele și *înălțimile apelor înalte* și *joase* în raport cu *nivelul mediu* al mareei Z_0, la locul și pentru intervalul de timp viitor ce prezintă interes.

Această operație se efectuează de către *institutele hidrografice* ale diferitelor state pentru locurile ce prezintă interes, numite *porturi standard (standard ports)*, folosind calculatoarele mecanice sau electronice, care combină în unde de maree rezultantă până la 62 unde componente. Și deoarece previziunea armonică exprimă înălțimile Y ale mareei (relația 33-1) în raport cu nivelul mediu al mareei Z_0, la aceasta se adună înălțimea acestui nivel h_0 deasupra *nivelului zero hartă* și se obțin astfel *înălțimile mareei rezultante deasupra nivelului zero hartă*, care interesează în navigație.

Rezultatele metodei armonice, *orele legale* și *înălțimile apelor înalte și joase deasupra nivelului zero hartă* sunt redate în *table de maree*, folosite de navigatori pentru rezolvarea problemelor de navigație în zonele cu maree.

B. *Aplicarea metodei armonice la bord pentru prevederea mareelor*

Pentru nevoile practice ale navigației, în activitatea de prevedere a mareelor, experiența a dovedit că precizia este satisfăcătoare dacă în aplicarea metodei armonice se ține seama doar de cele nouă unde componente menționate mai sus. La bordul navelor noastre maritime, metoda se aplică prin folosirea tablelor de maree engleze „*Tide tables*".

Constantele armonice pentru localitățile principale de pe glob, *semiamplitudinea H* și *întârzierea de fază g*, sunt conținute în partea a II-a, secțiunea a II-a a acestor table.

Calculul de prevedere a mareei cu aceste table pentru o anumită zi, într-un loc, constă din:

– determinarea înălțimii Y a undei componente pentru fiecare din cele nouă componente, din oră în oră, în raport cu nivelul mediu al mareei;

– se face suma *algebrică* a ordonatelor Y ale celor nouă unde componente, la fiecare oră a zilei și se obțin înălțimile h_m ale mareei rezultate în raport cu nivelul mediu al mareei;

– se adună algebric înălțimea h_0 a *nivelului mediu* al mareei deasupra *nivelului zero hartă* la înălțimea h_m din oră în oră și se obțin *înălțimile h_z ale mareei deasupra nivelului zero hartă*. Corecția de nivel h_0 ce se aplică înălțimilor h_m pentru a obține înălțimile h_z este constantă, fiind conținută în table pentru fiecare loc.

Metoda este cunoscută sub denumirea de *prevederea armonică aproximativă a mareelor*, deoarece calculul ia în considerație numai cele nouă unde componente.

Înălțimea Y a unei anumite unde componente față de nivelul mediu al mareei la ora locală O^h a locului într-o zi oarecare se obține din relația:

$$Y = fH\cos(E - g) \quad (33\text{-}2)$$

unde f este un factor de corecție a semiamplitudinii H pentru variața anuală a înclinării orbitei lunare față de planul eclipticii; factorul f se obține din tala a III-a *„Tables to assist predicting"*, a părții a II-a, secțiunea a II-a.

Succesiunea calculului înălțimii Y a unei unde componente cu *Tide tables* este următoarea:

1 – din *partea a II-a, secțiunea a II-a,* în dreptul localității pentru care se afectuează calculul, se scot din tablă *constantele armonice (harmonic tidal constants), H* (în picioare) și g (în grade) pentru cele nouă *componente (contituents),* M_2 ..., MS_4, precum și înălțimea h_0 a *nivelului mediu al mareei* față de *nivelul zero hartă.* Tabla se prezintă astfel:

HARMONIC TIDAL CONSTANTS

No.	Place and pozition	Constants	Constituents									
			M_2	S_2	N_2	K_2	K_1	O_1	P_1	M_4	MS_4	h_0
	Place λ = φ =	H (feet) $g°$										

2 – din *„Tide tables"* se scot următoarele mărimi:

m, din *tabla I.* în funcție de prima zi a lunii calendaristice. Mărimea m (simbol derivând de la „*m*onth"), reprezintă valoarea lui E la O^h Greenwich pentru prima zi a lunii calendaristice;

d, din tabla a II-a, în funcție de data (ziua lunii calendaristice). Mărimea d (de la „*d*ay"), exprimă corecția ce se adună cu m pentru a obține pe E la 0^h Greenwich a datei care interesează;

f, din tabla a II-a, în funcție de anul calandaristic;

3 – se face suma $m + d = E$, diferența $E - g$ și produsul $f \cdot H$;

4 – se calculează produsul $fH \cos(E - g)$, care reprezintă înălțimea Y_0 a fiecărei unde componente M_2, S_2, ..., MS_4 la ora *legală* 0^h a datei considerate;

5 – înălțimile aceleiași unde componente Y_1, Y_2, ..., Y_{23}, la orele legale 1^h, 2^h, ..., 23^h ale zilei respective se obțin astfel:

– se adaugă succesiv unghiul $(E - g)$ creșterea unghiulară, v, $2v$, ...$23v$ în timpul mișcării diurne a *satelitului fictiv,* în funcție de *viteza orară* v (în grade) a acestuia pe orbita circulară în jurul Pământului și intervalul de timp (în ore);

– se calculează înălțimile undei componente Y_1, Y_2, ..., Y_{23}, la orele legale 1^h, 2^h, ..., 23^h ale zilei respective din produsele:

$$fH \cos[(E - g) + v], fH \cos[(E - g) + 2v], ..., fH \cos[(E - g) + 23v].$$

Aceste ultime două calcule se efectuează cu ajutorul tablelor IV și V (*„to assist predicting"*).

Operațiunile descrise mai sus (*1* la *5*) se efectuează succesiv pentru toate cele nouă unde componente. Se obțin astfel înălțimile Y ale celor nouă unde componente la orele legale 0^h, 1^h, 2^h, ..., 23^h; suma lor *algebrică* dă înălțimile h^m ale mareei rezultante față de *nivelul mediu al mareei,* la care se adaugă constanta h_0 și se obțin *înălțimile* h_z *ale mareei în raport cu nivelel zero hartă,* în ziua și la locul considerat.

Se întocmește apoi *diagrama mareei* într-un sistem de axe rectangulare, trecând orele legale pe axa abciselor și înălțimile h_z ca ordonate; curba mareei se obține prin

unirea vărurilor ordonatelor h_z (fig. 33-12). Din această diagramă se poate scoate înălțimea h_z a mareei la orice oră din ziua restectivă.

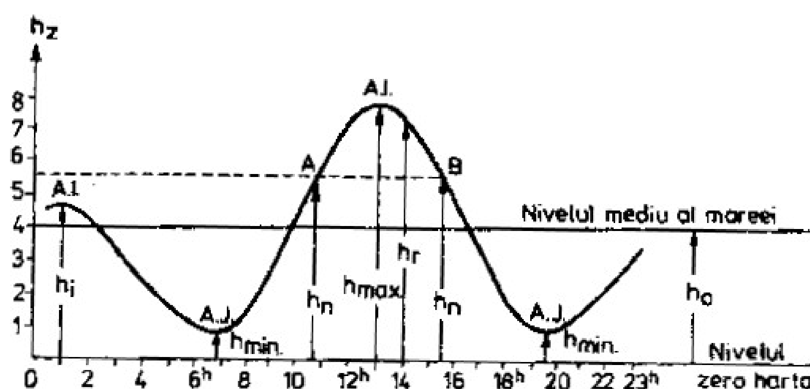


Fig. 33-12

Cu explicațiile date mai sus și cu ajutorul exemplelor rezolvate conținute în *„Tide tables"*, consider ca accesibile aceste table pentru *prevederea mareelor* în navigație; calculul este într-adevăr laborios, fără a fi însă dificil.

C *Rezolvarea unor probleme practice de navigație*

Având întocmită o asemenea *diagramă a mareei* (fig. 33-12) pentru un anumit loc, se pot rezolva practic toate problemele care se pun în navigația prin zone cu maree, între care:

– determinarea orelor (1^h și 13^h) și înălțimilor (h_i și h_{max}) a apelor înalte (A.I.) și joase (A.J.), aceste date interesează obișnuit la intrarea în porturi, trecerea unor bare etc.;

– determinarea intervalului de timp în care poate fi trecută în siguranță o zonă de adâncime redusă. Astfel, considerăm că față de pescajul navei, o zonă de adâncime mică poate fi trecută la înălțimea h_n a mareei față de nivelul zero hartă, care determină pe curba mareei punctele *A* și *B*. Rezultă că în exemplul dat, această zonă poate fi trecută între orele 10^h40^m și 15^h30^m;

– *„reducerea sondajelor măsurate la bord la nivelul zero hartă"*. Sondajul determină o linie de poziție, *izobata*, care poate fi utilizată pentru a obține indicii asupra nivelului navei (vezi cap. 13, § 8). Adâncimile apei sunt date în hartă față de nivelul zero hartă; dacă, de exemplu, la ora 14^h s-a măsurat un sondaj, adâncimea indicată în hartă se obține scăzând înălțimea h_r din sondajul măsurat. Sondajul redus astfel la nivelul zero hartă poare fi comparat cu celelalte adâncimi din zona de navigația (conținute în hartă), pentru a putea obține indicii asupra pozițieinavei.

2 Metoda diferențelor (constantelor). Utilizarea tablelor de maree conținute în B.N.A.

Această metodă, fundamentală teoretic și confirmată prin observații, se bazează pe faptul că în anumite locuri ale globului, mareele au caracteristicile principale comune; astfel, se constată că în aceste locuri orele apelor înalte și joase sunt separate de intervale de timp constante, iar înălțimile mareei se mențin în raporturi

determinate, numite *diferențe de maree (tidal differences)* sau constante *de maree (tidal constants).*

Diferențele de maree dintre o serie de *porturi standard (standards ports)* de pe glob și un număr mare de *porturi secundare (secundary ports),* mai apropiate sau mai depărtate de primele, se determină pe baza unor observații îndelungate și a unor studii laborioase.

Prevederea mareelor într-un *port secundar* se realizează prin corectarea datelor ce definesc mareea din *portul standard,* în funcție de *diferențele de maree* dintre cele două porturi.

Tablele de maree („Tide tables") conținute în partea a III-a din *Brown's Nautical Almanac* (B.N.A.) oferă, pe această bază, posibilitatea prevederii mareelor la bord în majoritatea porturilor lumii. Sunt table care sunt folosite în mod frecvent la bordul navelor noastre maritime pentru rezolvarea problemelor de prevedere a mareelor în navigație și numai în situații deosebite se apelează la metoda armonică; procedeul este simplu, suficient de precis pentru nevoile practice ale navigației și expeditiv.

„Tide tables" din B.N.A. conțin trei părți:

– *„Prevererile zilnice pentru coasta Angliei, Europei de vest, Indiei, Australiei, Noua Zeelandă, Canada, America („Daily Predictions for the Coast of Britain, Western Europa, India, Australia, New Zeeland, Canada, America");*

– *„Constantele mareelor pentru toate porturile din insulele engleze" („Tidal Constants for all ports in British Isles");*

– *Constantele mareelor pentru porturile străine („Tidal Constants for Foreign Ports").*

Orele apelor înalte, în prima parte, sunt exprimate în timp mediu la Greenwich și în timp legal (fapt precizat în table); în părțile a doua și a treia se folosesște numai timpul legal,indicat în niște liste *(„Standard times"),* pentru fiecare port în parte.

a – Determinarea orei și înălțimii apei înalte în porturile standard.

Tablele *„Daily predictions for the Coast of Britain, Western Europe, India, Australia, New Zeeland, Canada, America"* conțin orele și înălțimile apelor înalte în *porturile standard,* pentru fiecare zi a anului calendaristic în curs.

Prevederile mareelor pentru porturile standard conținute în această parte sunt determinate cu mare precizie prin *metoda armonică.*

Exemplu. Se cer orele și înălțimile apelor înalte în portul *Cardii* în ziua de 15 decembrie 1973.

Tabla de maree a portului *Cardiff* pe luna decembrie 1973 conține:

Greenwich Mean Time throughout
–December–

D of M	D of W	Cardiff					
		Moru		Ht.	Aft		Ht.
		h	m	m	h	m	m
15	S	10	45	11.0	10	45	10.5

În ziua de 15 decembrie 1973, indicată pe coloana „D of M" („day of *month*"), sâmbătă (Saturday), pe coloana „D of W" („day of week"), au loc două maree înalte: *maree de dimineață* („*Morn*", „morning") la ora 10^h45^m, înălțimea 11.0m („HtÎ.,

„height"); *mareea de după-amiază („Aft", „afternoon")* la ora 23^h16^m, înălţimea 10.5 m.

Orele sunt exprimate în timp mediu la Greenwich. Când orele exprimă timpul legal, acest timp este indicat pentru fiecare port în parte în lista *„Standard times used in daily tidal predictions".*

b – Utilizarea tablelor de maree pentru porturile secundare.

Cele două table de maree pentru porturile secundare indicate mai sus conţin următoarele (a se urmări tabela de mai jos):

– *portul standard („Stand. Port"(,* sub care sunt indicate *diferenţele de timp („Difference")* dintre orele apelor înalte în *portul standard* şi cele din *porturile secundare;*

– *longitudinea fusului („Time zone"),* în ore, a portului secundar;

– *porturile secundare („Secondary ports")* corespunzătoare fiecărui *por standard;*

– *înălţimea medie a apei („M.H.W.", mean high water)* la *sizigii* („Sp.", springs) şi la *cuadraturi* („Np", neaps), pentru fiecare port secundar.

Ora apei înalte a unui port secundar se determină adăugând *diferenţa (constanta) de timp* a locului la ora apei înalte a *portului standard* (determinată în modul indicat mai sus); diferenţa de timp este astfel întocmită încât ora apei înalte din portul secundar se obţine direct în timp legal.

Exemplu. Se cer prevederile mareei în portul *Anvers* în ziua de 16 decembrie 1973.

Din tabla *„Tidal constants for foreign ports"* se stabileşte că portul *Anvers (Antwerp)* este *port secundar* al *portului standard Flushing,* din care, pentru exemplificare, extragem următoarele:

Stand. Port and Difference	Time Zone	Secondary Ports	M.H.W.	
			Sp.	Np.
h m	h		Ft.	Ft.
Flushing – 00 28	–1	Westkapelle	13.7	11.0
....	....	....	....	....
+ 02 10	–1	Antwerp	17.0	14.5

Orele apelor înalte la Anvers (Antwerp) în ziua de 16 dec. 1973 se determină astfel:

– Ora A.I. la *Flushing,* 16 dec. a. m .... = 06^h27^m
– Ora A.I. la *Flushing,* 16 dec. p: m .... = 18^h54^m
– *diferenţa* de timp pentru Anvers .... = + 2^h10^m........... = + 2^h10^m

– orele A.I. la Anvers, 16 dec. .... = 08^h37^m .... = 21^h04^m

Orele exprimă timpul la Anvers.

Înălţimea nivelului mediu al apei înalte la sizigii („Sp"), la Anvers, este de 17.0 picioare (Ft., fooet), iar la cuadraturi („Np".), de 14.5 picioare (ca la Flushing).

Orele apei înalte (A.I) la Flushing se obţin din prima tablă *„Daily Predictions for the Coast of..., Western Europe, ...,"* aşa cum s-a arătat mai sus la punctul *a.*

3 Informații despre maree conținute în hărțile marine

Hărțile marine engleze, sub titlul *„Tidal information"*, conțin informații privind *înălțimea nivelului mediu al apei înalte (high water)* și *apei joase (low water) la sizigii (mean springs)* și respectiv *la cuadraturi (mean neaps)*, deasupra *nivelului zero hartă*, în câteva puncte importante ale zonei reprezentate.

§6 Curenții de maree

Creșterea și descreșterea nivelului apei sunt însoțite de deplasări orizontale ale masei de apă, care dau naștere *curenților de maree (tidal streams)*. În rezolvarea problemelor de navigație, acești curenți trebuie distinși cu atenția de ceilalți *curenți marini*, generați de vânt, diferența de salinitate a apei, de presiunea atmosferică sau de alte cauze.

Studiul curenților de maree este foarte important în navigație, pentru determinarea drumului și vitezei navei deasupra fundului.

La larg, curenții de maree prezintă, în general, aceleași caracteristici de periodicitate ca și mareele; *viteza curentului de mare (tidal stream rate)*crește cu amplitudinea mareei, atinge *viteza maximă (maximum rate)* la apă joasă și la apă înaltă, viteza minimă sau *apa staționară (slack water)* aproape de jumătatea intervalului de timp dintre mareea joasă și cea înaltă, când are loc și schimbarea de sens a curentului.

În apropierea coastei, acolo unde secțiunea de scurgere a masei de apă se restrânge, viteza curenților de maree crește considerabil în comparație cu cea din largul mării. Astfel, în timp ce la larg viteza curenților de maree atinge valori de 2–3 Nd, în zona costieră s-au înregistrat viteze până la 12 Nd (în condiții speciale, în zona peninsulei Alaska).

În cazul mareelor semidiurne, la larg, *curentul de flux* acționează aproximativ 3^h înainte și după apa înaltă, iar *curentul de reflux* – 3^h înainte și după mareea joasă. În zona costieră, când unda de maree întâlnește obstacole, ca funduri mici, coaste de anumite forme și orientări față de cea a undei, momentul schimbării direcției curentului poate varia considerabil în funcție de condițiile locale. Aceste influențe pot fi atât de mari, încât momentul schimbării direcției curentului să coincidă cu apa înaltă sau cu cea joasă.

În estuare și pe râuri, vitezele și momentele de schimbare a direcției curenților de maree urmează legi extrem de complexe, determinate îndeosebi de forma albiei și adâncimea apei. De aceea, observarea și studiul curenților de maree se realizează cu o dificultate cu mult mai mare decât cea a mareelor; astfel, de exemplu, se semnalează cazuri când în mijlocul canalului se determină viteze de 3–4 Nd de un anumit sens, pentru ca la mică distanță spre mal, în limitele părții navigabile, să se constate *apă staționară* sau un curent slab de sens invers. În secțiunile foarte înguste ale râurilor, curentul de maree atinge viteze maxime *(tidal race)*.

Curenții de maree sunt de două tipuri: *rectilineari* și *giratorii*.

Curentul rectilinear (rectilinear tidal stream), care acționează pe aceeași direcție, în sensuri opuse, desemnate prin denumirile: *curent de flux (flood stream)* și *curent de reflux (ebb stream)*; asemenea curenți se întâlnesc pe canale, râuri, estuare

sau în strâmtori (când în funcţie de lăţimea strâmtorii pot avea loc mici abateri de la dierc̦ţia principală).

Curenţii giratori (rotatory tidal stream) sunt curenţi de maree formaţi la larg, care îşi ating viteza maximă pe aceeaşi direcţie, în sensuri opuse, dar care schimbă succesiv de direcţie, executând o giraţie completă în perioada unei maree.

În zonele în care curenţii de maree prezintă o periodicitate regulată şi există posibilitatea stabilirii unor relaţii între evoluţia mareei dintr-un *port de referinţă* (standard sau secundar) şi variaţia elementelor curenţilor de maree, întocmirea documentaţiei pentru uzul navigaţiei este mult facilitată. Relaţiile dintre cele două fenomene, de interes practic pentru întocmirea unei asemenea documentaţii, sunt: stabilirea de raporturi dintre schimbarea direcţiei curenţilor de maree din zonă şi ora apei înalte dintr-un raport de referinţă; determinarea unor relaţii dintre vitezele curentului de maree şi variaţia amplitudinii mareei. În asemenea condiţii, elementele curenţilor de maree (direcţii şi viteze) se exprimă în raport de ora apei înalte ale unui *port de referinţă* din zonă, în diferite forme: *atlase de curenţi de maree, hărţi de curenţi* şi sub *forme tabelare în hărţile marine* folosite în navigaţie (aşa cum se arată mai jos). Desigur că, realizarea acestor documentaţii, fundamentate pe o asemenea bază, sunt rezultatul unor observaţii îndelungate şi al unor studii laborioase.

Pentru uzul navigaţiei la bordul navelor, de foarte mare utilitate este prezentarea tabelară în hărţile marine a elementelor curenţilor de maree din zonă, exprimate în funcţie de ora apei înalte a unui *port de referinţă*.

Pentru exemplificare, se redă în continuare un extras din harta *„Zeegat van Texel to Friesche Zeegat"* (seria 2593) din Marea Nordului:

		(A) 52°59'0N. 4°11'0E.		(B) 52°58'9N. 4°46'5E.		
Hours	Dir.ⁿ	Rate(kn) Sp.	Np.	Dir.ⁿ	Rate(kn) Sp.	Np.
Before H.W. Helgoland 6	012°	1·7	1·2	064°	1·1	1·1
5	016°	1·2	0·9	062°	1·0	0·7
4	025°	0·7	0·5	325°	0·1	0·1
3	150°	0·3	0·2	244°	1·2	0·8
2	182°	0·8	0·6	230°	2·4	1·6
1	192°	1·1	0·8	237°	2·8	1·9
H.W.	196°	1·2	0·9	230°	2·7	1·8
After H.W. Helgoland 1	201°	1·0	0·7	238°	2·0	1·4
2	290°	0·5	0·1	251°	0·8	0·2
3	324°	0·2	0·1	050°	1·7	1·2
4	002°	0·9	0·6	059°	2·3	1·6
5	007°	1·5	1·1	064°	2·1	1·4
6	011°	1·7	1·2	061°	1·7	1·2

În hartă sunt prezentate o serie de poziţii, marcate prin litere *(A, B, C* etc....) închise în câte un romb. Într-un loc potrivit, sub titlul *„Tidal streams referred to H.W. at Helgoland"* (curenţii de maree referiţi la apa înaltă de la Helgoland), în acest caz deci, portul de referinţă fiind Helgoland, se prezintă sub formă tabelară elementele curenţilor de maree; în dreptul fiecărui punct *(A, B, C* etc.) se indică coordonatele geografice ale acestuia.

Pentru fiecare din aceste puncte se exprimă următoarele elemente:

– *direcţia curentului* („Dirⁿ"), indicând sensul în care se deplasează masa de apă în raport cu direcţia nord adevărat, funcţie de ora apei înalte *(„H.W.", high*

water) în *portul de referință* (Helgoland). Și pentru că în Marea Nordului mareele sunt de tipul semidiurn, ,direcțiile curentului se exprimă din oră în oră, 6 ore *înainte de apa înaltă („before H.W.")* în *portul de referință* și respectiv 6 ore *după apa înaltă („after H.W.");*

– *viteza („Rate"),* în noduri („Kn", *Knots),* la mareea de *sizigii* („Sp.", *springs)* și la *cuadraturi* (Np.", *neaps).*

În scopul concretizării modului de utilizare în navigație a acestor indicații din hartă, considerăm că în ziua de 10 noiembrie 1973, o navă intră în zona care conține punctul A ($\varphi = 52°59'N$; $\lambda = 4°21'E$) la ora bordului 16^h10^m (ora fusului 1 estic). Se cere să se determine direcțiile și vitezele curentului de maree din acest interval.

Se procedează astfel:

– se determină ora apei înalte la Helgoland pentru ziua de 10.11.1975. În B.N.A., partea a III-a, tabla *„Tidal constants for foreign ports",* Helgoland apare ca port secundar al portului standard *Cuxhaven,* deci:

– ora A.I. la Cuxhaven, 10.11.73.....	$= 12^h32^m$
– diferența de timp pentru Helgoland.....	$= -1^h21^m$
– ora A.I. la Helgoland, 10.11.73.....	$= 11^h11^m$

– din tabla zilnică a efemeridei la data de 10.11.1973 (vezi anexa II) se constată că Luna este la faza de *Lună plină,* deci mareea este de sizigii („Sp.", *Springs);*

– tabelul *„Tidal Streams reffered to H.W. at Helgoland",* la punctul A (din tabelul de mai sus), indică următoarele:

a – la ora 11^h11^m (A.I. Helgoland), la sizigii („Sp."), direcția curentului 196°, viteza 1.2 Nd;

b – la ora 16^h11^m (5^h după apa înaltă), direcția curentului 7°, viteza 1.5 Nd. Aceasta sunt elemntele curentului de care trebuie să se țină seama la intrarea în zona punctului *A;*

c – la ora 17^h11^m (6^m după apa înaltă), direcția curentului 11°, viteza 1.7 Nd.

Privind elementele curentului de maree din punctul *A* se conclud următoarele:

– viteza maxină are loc la apa joasă (6^h înainte și după apa înaltă) și la apa înaltă;

– viteza minimă este la 3^h înainte și după apa înaltă;

– curentul este de tip giratoriu, având viteza maximă la apa joasă și cea înaltă, în direcții aproape opuse (12° și, respectiv, 196°). Direcția curentului girează în sens retrograd (12°, 16°, ..., 196°, ..., 7°, 11°). Față de caracteristicile pe care le prezintă, se poate afirma că în punctul *A* se produce un curent tipic de maree semidiurnă.

Elementele curenților de maree sunt influențate de factorii hidrometeorologici din zonă: vânturi puternice de durată și din aceeași direcție, diferențe mari de presiune atmosferică în zonele învecinate etc. De aceea, pe timpul navigației se recomandă un control continuu al elementelor curentului prin observații proprii.

34 Traversade. Navigaţia ortodromică

§1 Generalităţi

Executarea cu succes a unei traversade, atât sub aspectul siguranţei navigaţiei cât şi al celui economic, constituie unul din examenele de maturitate profesională ale navigatorului. Alegerea soluţiei celei mai favorabile pentru drumul de urmat, măsurile de luat pentru siguranţa navigaţiei etc. trebuie să ţină seama cu atenţie de calităţile nautice ale navei, de factorii hidrometeorologici din zonă, de felul mărfii încărcate la bord, de eventuale precauţii impuse de modul de stivuire şi amarare a mărfii etc. Este deci de reţinut că *drumurile recomandate* pentru efectuarea unei traversade într-o anumită zonă nu sunt general valabile pentru toate tipurile de nave; chiar pentru o aceeaşi navă, acestea pot diferi funcţie de condiţiile de încărcare sau de anumite particularităţi privind starea sa tehnică.

Plecarea în călătorie se face după o pregătire minuţioasă a navei, asigurându-i-se o *bună stare de navigabilitate* din toate punctele de vedere (condiţii tehnice, de dotare şi aprovizionare, de echipaj etc). Studiul drumului şi pregătirea navei se pot considera încheiate numai în stadiul în care comandantul apreciază că este în măsură să asigure răspuns oricărei situaţii în confruntarea dintre navă şi maree.

Teoretic, distanţa cea mai scurtă între două puncte pe sfera terestră este ortodroma (vezi cap. 8, § 2). În § 2, de mai jos, se prezintă modul de calcul al elementelor ortodromei necesare în navigaţie.

Practic, pe mare, distanţa cea mai scurtă între punctul de plecare şi cel de destinaţie trebuie considerată aceea care permite executarea traversadei în condiţii de deplină siguranţă şi în timpul cel mai scurt; riscul impus eventual de particularităţile zonei sau ale navei trebuie preluat în limite rezonabile, ţinând seama permanent de primatul criteriului de siguranţă.

Condiţiile extrem de variate ce pot fi întâlnite pe mări şi oceane nu permit stabilirea unor soluţii general valabile pentru conducerea navei. *Cunoaşterea temeinică a bazelor teoretice ale sistemelor clasice şi moderne de navigaţie, cât şi a condiţiilor practice de aplicare, îmbinate judicios într-o concepţie modernă privind conducerea navei pe mare, constituie calea unică spre soluţiile optime în executarea traverselor maritime şi oceanice, în condiţii de siguranţă şi de eficienţă economică.*

§2 Navigația ortodromică

1 Considerații introductive

Ortodroma este arcul de cerc mare care unește două puncte A și B de pe suprafața sferei terestre (fig. 34-1). Așa cum s-a arătat la capitolul 7, § 2, ortodroma are două proprietăți cu importanță în navigație: reprezintă distanța cea mai scurtă

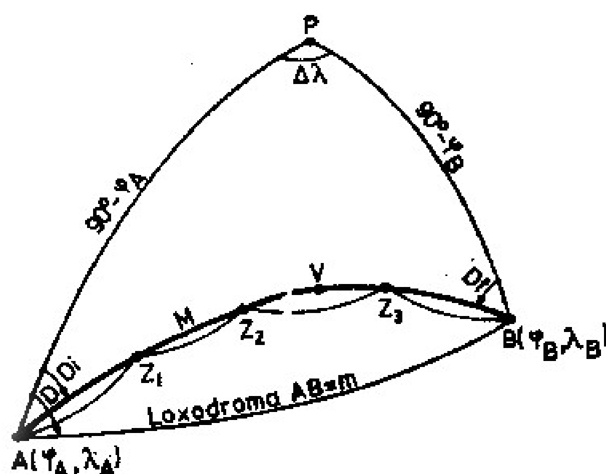


Fig. 34-1

între două puncte de pe sfera terestră; taie meridianele sub unghiuri diferite. Ortodroma se confundă cu loxodroma când punctele A și B se află pe același meridian sau pe ecuator; în aceste cazuri particulare, ortodroma taie meridianele sub același unghi (0°, 180° și respectiv 90° sau 270°).

În navigația oceanică, când punctul de plecare A și cel de sosire B sunt situate la o distanță mare, diferența dintre distanța loxodromică m și cea ortodromică M poate fi considerabilă; această diferență este exprimată de relația:

$$m - M = \frac{m^2}{24}\sin^2 D \,\mathrm{tg}^2 \varphi_m \,\frac{1}{3438^2} \qquad (34\text{-}1)$$

unde D = drumul adevărat (loxodromic) și $\varphi_m = \dfrac{\varphi_A + \varphi_B}{2}$.

Relația (34-1) arată că diferența $m - M$ crește cu cât:

– distanța loxodromică m este mai mare;

– drumul loxodromic D este mai aproape de 90° (270°), deci, la aceeași distanță loxodromică m, cu cât diferența de longitudine dintre cele două puncte este mai mare;

– latitudinea medie φ_m a celor două puncte este mai mare.

În navigația oceanică, dacă diferența $m - M$ ia valori suficient de mari și condițiile hidrometeorologice sunt favorabile, se recomandă *„navigația pe ortodromă"*, deoarece oferă posibilitatea reducerii duratei traversadei, deci economie de timp și de combustibil.

Deplasarea navei de-a lungul ortodromei nu este însă practic posibilă, deoarece aceasta taie meridianele sub unghiuri diferite, iar guvernarea navei se asigură prin menținerea unui unghi constant față de direcția nord, egal cu drumul loxodromic D.

De aceea, *navigația ortodromică* se execută pe loxodrome scurte, cât mai apropiate de ortodromă, astfel (fig. 34-1):

– se determină coordonatele unor puncte (Z_1, Z_2,...) de pe ortodromă, situate la o diferență de longitudine constantă (de un număr întreg de grade), numite *puncte intermediare;*

– navigația se execută pe loxodromele AZ_1, Z_1Z_2 etc..., care unesc punctele intermediare ale ortodromei; drumurile loxodromice și distanțele de parcurs între punctele intermediare se determină la modul indicat la capitolele 8 și 9.

Elementele principale care definesc ortodroma sunt:

– *distanța ortodromică M,* egală cu lungimea arcului de cerc mare *AB*;

– *drumul inițial Di,* egal cu unghiul sferic *PAB,* format între meridianul *AP* al punctului de plecare și arcul de cerc mare *AB*;

– *drumul final Df,* egal cu unghiul sferic *PBA,* format între arcul de cerc mare *AB* și meridianul *BP* al punctului de sosire;

– *vertexul V,* care este punctul de pe cercul mare ce trece prin *A* și *B* cel mai apropiat de polul geografic, deci punctul cu cea mai mare latitudine. Coordonatele geografice ale vertexului servesc ca bază de calcul a coordonatelor punctelor intermediare ale ortodromei;

– coordonatele punctelor intermediare.

Practica navigației pe ortodromă este mult facilitată prin folosirea hărților gnomonice (vezi § 4), pe care ortodroma apare ca o linie dreaptă.

2 Calculul distanței ortodromice

Considerăm o navă care pleacă din punctul A (φ_A, λ_A) în punctul B (φ_B, λ_B), având diferența de longitudine $\Delta\lambda = \lambda_B - \lambda_A$ (fig. 34-1). Distanța ortodromică *M* se obține prin aplicarea *formulei cosinusurilor laturilor* în triunghiul sferic *ABP,* format între punctul de plecare *A*, cel de sosire *B* și polul geografic *P,* în care se cunosc laturile $AP = 90° - \varphi_A$, $BP = 90° - \varphi_B$, și unghiul sferic cuprins între ele $\sphericalangle APB = \Delta\lambda$, astfel:

$$\cos M = \cos (90° - \varphi_A) \cos (90° - \varphi_B) + \sin (90° - \varphi_A) \sin (90° - \varphi_B) \cdot \cos \Delta\lambda$$

de unde:

$$\cos M = \sin \varphi_A \sin \varphi_B + \cos \varphi_A \cos \varphi_B \cos \Delta\lambda \qquad (34\text{-}2)$$

Formula se rezolvă logaritmic, pe părți sau cu ajutorul oricărei table utilizate în navigație pentru calculul înălțimii unui astru din latitudine, declinație și unghi la pol, prin substituirea corespunzătoare a argumentelor de intrare în tablă.

3 Calculul drumului inițial Di și a drumului final Df al ortodromei

Drumul inițial Di se obține prin aplicarea *formulei cotangentelor* în triunghiul sferic *ABP* pentru următoarele patru elemente consecutive: drumul inițial *Di,* latura $PA = 90° - \varphi_B$, dintre care ultimele trei sunt cunoscute. Pe baza acestei formule, se poate scrie:

$$\operatorname{ctg} D_i \sin \Delta\lambda = \operatorname{ctg} (90° - \varphi_B) \sin (90° - \varphi_A) - \cos (90° - \varphi_A) \cos \Delta\lambda$$

în care înlocuind și împărțind la sin $\Delta\lambda$ se obține:

$$\text{ctg } D_i = \text{tg } \varphi_B \cos \varphi_A \text{ cosec } \Delta\lambda - \sin \varphi_A \text{ ctg } \Delta\lambda \qquad (34\text{-}3)$$

În mod similar, *drumul final Df* se obține prin aplicarea formulei gentelor în triunghiul sferic *BAP*, din aceleași trei elemente consecutive cunoscute:

$$\text{ctg } Df \sin \Delta\lambda = \text{ctg } (90° - \varphi_A) \sin (90° - \varphi_B) - \cos (90° - \varphi_B) \cos \Delta\lambda \text{ de unde:}$$

$$\text{ctg } Df = \text{tg } \varphi_A \cos \varphi_B \text{ cosec } \Delta\lambda - \sin \varphi_B \text{ ctg } \Delta\lambda \qquad (34\text{-}4)$$

Formulele (34-3 și 34-4) se rezolvă logaritmic, pe părți sau cu orice tablă folosită în navigație pentru calculul azimutului din latitudine, declinație și unghi la pol, prin substituirea corespunzătoare a argumentelor de intrare în table.

Drumul inițial și cel final se citesc din tabla logaritmică cu valori semicirculare și se transformă apoi în sistem circular.

4 Calculul coordonatelor vertexului

Vertexul *V* se obține prin tangentarea cercului mare determinat de punctele $A(\varphi_A, \lambda_A)$ și $B(\varphi_B, \lambda_B)$ cu paralelul *pp'* de latitudine maximă (fig. 23-2). Dacă *Di* și *Df* sunt unghiuri ascuțite, vertexul se află pe ortodroma *AB*; când unul din cele două unghiuri este obtuz, vertexul se află pe cercul mare ce trece prin *A* și *B*, într-un punct situat în afara ortodromei *AB*.

Coordonatele geografice ale vertexului se calculează prin rezolvarea unuia din cele două triunghiuri sferice *VPA* sau *VPB*, dreptunghice în *V*, care se formează între

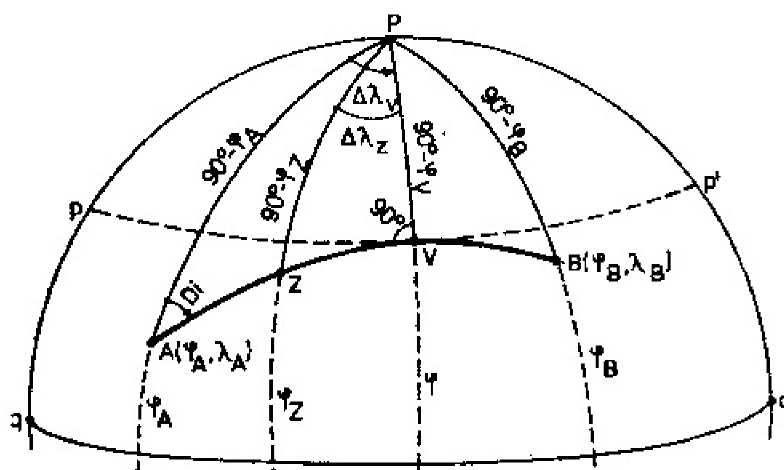


Fig. 34-2

meridianul vertexului *PV*, arcul de cerc mare *AB* și meridianul *PA* al punctului de plecare, respectiv *PB* al punctului de sosire.

Prin aplicarea regulii lui Napier în triunghiul sferic dreptunghic *VPA* se obține:

$$\cos \varphi_V = \sin (90° - \varphi_A) \sin D_i$$

și deci *latitudinea vertexului* este dată de relația:

$$\cos \varphi_V = \cos \varphi_A \sin D_i \qquad (34\text{-}5)$$

în care Di se obține din ecuația (34-3).

Longitudinea vertexului se obține din suma algebrică:

$$\lambda_V = \lambda_A + \Delta\lambda_V \qquad (34\text{-}6)$$

unde $\Delta\lambda_V$ reprezintă diferența de longitudine dintre punctul de plecare A și vertexul V, care se calculează prin rezolvarea aceluiași triunghi sferic dreptunghic VPA, astfel:

$$\cos(90° - \varphi_A) = \text{ctg}\,\Delta\lambda_V\,\text{ctg}\,Di$$

de unde:

$$\text{ctg}\,\Delta\lambda_V = \sin \varphi_A \,\text{tg}\, Di \qquad (34\text{-}7)$$

5 Calculul latitudinii punctelor intermediare

Punctele intermediare se obțin prin intersecția ortodromei cu meridiane separate de o diferență de longitudine constantă. Longitudinile punctelor intermediare sunt astfel determinate; problema care rămâne deci de rezolvat este de a calcula latitudinile acestor puncte.

Latitudinea φ_Z a unui punct intermediar oarecare Z se obține prin rezolvarea triunghiului VPZ, dreptunghic în V, în care se cunoaște cateta $PV = 90° - \varphi_V$ (din relația 34-5) și unghiul sferic $\Delta\lambda_Z = \lambda_V - \lambda_Z$ (fig. 34-2):

$$\cos \Delta\lambda_Z = \text{ctg}\,(90° - \varphi_Z)\,\text{ctg}\,\varphi_V$$

de unde:

$$\text{tg}\,\varphi_Z = \text{tg}\,\varphi_V \cos \Delta\lambda_Z \qquad (34\text{-}8)$$

Punctele intermediare astfel determinate se trec pe harta Mercator, care unite printr-o curbă cu extremitățile în A și B determină ortodroma AB; segmentele de dreaptă AZ_1, Z_1Z_2, Z_2Z_3 etc. ce unesc punctele intermediare ale ortodromei reprezintă loxodromele pe care nava urmează să se deplaseze din A în B.

Exemplu. O navă pleacă de la San Francisco (φ_A = 37°50′N; λ_A = 122°30′W) la Jedo (φ_B = 35°40′N; λ_B = 140°00′E). Se cer elementele ortodromei ce leagă cele două puncte, considerând drept puncte intermediare – punctele de intersecție dintre ortodromă și meridianele de longitudine multiplu de 10° (130°W, 140°W, ..., 160°E, 150°E).

Rezolvare:

a – Calculul diferenței de longitudine

$\lambda_B = +140°00'$
$-\lambda A = -122°30'$
$\Delta\lambda = +262°30'$

$\Delta\lambda = 360° - 262°30' = 97°30'$

b – Calculul distanţei ortodromice

$\cos M = \sin \varphi_A \sin \varphi_B + \cos \varphi_A \cos \varphi_B \cos \Delta\lambda = (+x) + (-y)$

$\log \sin \varphi_A = 9.78772$

$\log \sin \varphi_B = 9.76572$

$\log x = 9.55344$

$\log \cos \varphi_A = 9.89752$

$\log \cos \varphi_B = 9.90978$

$\log \cos \Delta\lambda = 9.11570$

$\log y = 8.92300$

$x = +\ 0.35765$

$+y = -\ 0.08375$

$\cos M = +\ 0.27390$

$\log \cos M = 9.43759$

$M = 74°06'.2 = 4446.2$ Mm

Minutul de arc de ortodromă se consideră egal cu o milă marină.

c – Calculul diferenţei de distanţă $m - M$:

– se calculează drumul loxodromic D între cele două puncte:

$$tg\ D = \frac{\Delta\lambda}{\Delta\varphi_C} = \frac{5850'}{161.6} \ldots D = 88°25'.1 = S\ 88°.4\ W = 268°.4;$$

– se calculează distanţa loxodromică între cele două puncte:

$m = \Delta\varphi \sec D = 130' \sec 88°25'.1 = 4709.8$ Mm;

– se calculează diferenţa dintre distanţa loxodromică m şi cea ortodromică M:

$m - M = 4709.8 - 4446.2 = 263.6$ Mm.

d – Calculul drumului iniţial *Di*

$\text{ctg}\ Di = \text{tg}\ \varphi_B \cos \varphi_A \text{cosec}\ \Delta\lambda - \sin \varphi_A \text{ctg}\ \Delta\lambda = (+x) + (+y)$

$\log \text{tg}\ \varphi_B = 9.85594$

$\log \cos \varphi_A = 9.89752$

$\log \text{cosec}\ \Delta\lambda = 0.00373$

$\log x = 9.75719$

$\log \sin \varphi_A = 9.78772$

$\log \text{ctg}\ \Delta\lambda = 9.11943$

$\log y = 8.90715$

$x = +\ 0.57173$

$+y = +\ 0.08075$

$\text{ctg}\ Di = +\ 0.65248$

$\log \text{ctg}\ Di = 9.81457$

$Di = 56°52'.6 \ldots Di = N\ 56°.9\ W = 303°.1$

Drumul iniţial se calculează la precizie de 0'.1, deoarece serveşte la calculul coordonatelor geografice ale vertexului.

e – Calculul drumului final *Df*

Drumul final *Df* se calculează prin formula (34-4) în mod similar calculului drumului iniţial:

$Df = 54°30'.4 \ldots Df = S\ 54°.5\ W = 234°.5$

f – Calculul coordonatelor vertexului *V*

Calculul latitudinii φV a vertexului:

$\cos \varphi_V = \cos \varphi_A \sin Di$

$\log \cos \varphi_A = 9.89752$

$\log \sin Di = 9.92298$

$\log \cos \varphi_V = 9.82050$

$\varphi_V = +\ 48°35'.4$

Calculul longitudinii λ_V a vertexului:

$\text{ctg}\ \Delta\lambda_V = \sin \varphi_A\ \text{tg}\ Di$ ... $\lambda_V = \lambda_A + \Delta\lambda_V$

$\log \sin \varphi_A = 9.78772$	$\lambda_V = -122°30.0$
$\log \text{tg}\ Di = 0.18544$	$+\Delta\lambda_V = -\ 46°46'.2$
$\log \text{ctg}\ \Delta\lambda_V = 9.97316$	$\lambda_V = -169°16'.2$
$\Delta\lambda_V = 46°46'.2$	

g – Calculul coordonatelor punctelor intermediare

$\text{tg}\ \varphi_Z = \text{tg}\ \varphi_V \cos \Delta\lambda_Z$

Punctul intermediar	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4
Longitudinea λZ =	– 130°	– 140°	– 150°	– 160°
$\Delta\lambda_Z = \lambda_V - \lambda_Z$ =	39°16'.2	29°16'.2	19°16'.2	9°16'.2
$\log \text{tg}\ \varphi_V$ = $\log \cos \Delta\lambda_Z$ =	0.05456 9.88884	0.05456 9.94068	0.05456 9.97496	0.05456 9.99429
$\log \text{tg}\ \varphi_Z$ = φ_Z =	9.94340 + 41°16'.6	9.99524 + 44°41'.2	0.02952 + 46°56'.8	0.04885 + 48°12'.9

Punctul intermediar	Z_5	Z_6	Z_7	Z_8	Z_9
Longitudinea λ_Z =	– 170°	180°	+ 170°	+ 160°	+150°
$\Delta\lambda_Z = \lambda_V - \lambda_Z$ =	43'.8	10°43'.8	20°43'.8	30°43'.8	40°43'.8
$\log \text{tg}\ \varphi_V$ = $\log \cos \Delta\lambda_Z$ =	0.05456 9.99996	0.05456 9.99234	0.05456 9.97093	0.05456 9.93429	0.05456 9.87955
$\log \text{tg}\ \varphi_Z$ = φ_Z =	0.05452 + 48°35'.2	0.04690 + 48°40'.8	0.02549 + 46°40'.9	9.98885 + 44°15'.9	9.93411 + 40°40'.2

§3 Navigația mixtă

Considerând că nava trebuie să se deplaseze din punctul A (φ_A, λ_A) în B (φ_B, λ_B) și ortograma trece peste uscat sau la latitudini mari, prin zone cu ghețari sau cu condiții hidrometeorologice nefavorabile, traversada se execută sub forma unei *navigații mixte,* astfel (fig. 34-3):

– se stabilește un *paralel de* latitudine *limită pp'* care să asigure executarea traversadei în condiții favorabile;

– din A și B se duc arcele de cerc mare AC și BD, tangente la paralelul limită; punctele de tangentă C și D se numesc *vertexele drumului mixt;*

– navigaţia se execută pe *drumul mixt ACDB*, format din ortodroma *AC*, arcul de paralel *CD* şi ortodroma *DB*. Navigaţia pe orodromele *AC* şi *DB* se execută în modul indicat mai sus la § 2, adică pe loxodrome scurte ce leagă punctele lor intermediare; pe arcul de paralel *CD* se execută o navigaţie loxodromică.

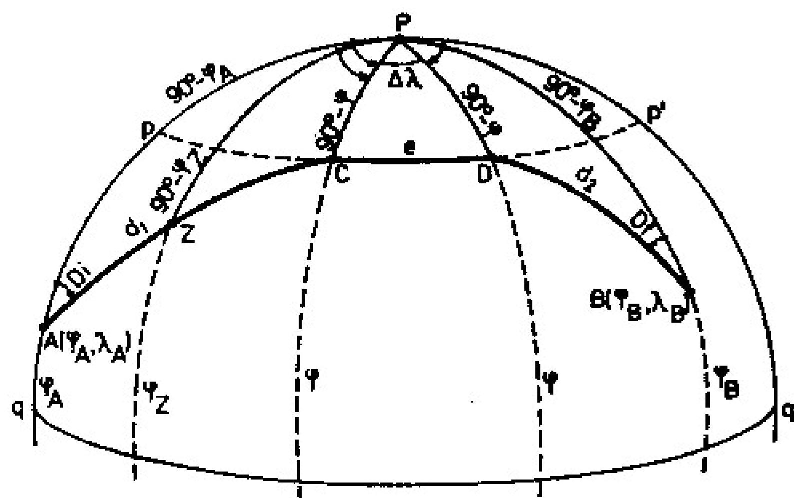


Fig. 34-3

Elementele principale ale drumului mixt sunt (fig. 34-3):

– *drumul iniţial Di* = ∢*PAC* şi *drumul final Df* = ∢*PBD;*

– longitudinea vertexelor *C* şi *D* (latitudinea lor este cunoscută, fiind egală cu cea a paralelului limită *pp′*);

– *distanţa totală pe drumul mixt*, egală cu suma distanţelor ortodromice $AC = d_1$, $DB = d_2$ şi distanţa *CD* pe paralelul limită;

– coordonatele punctelor intermediare pe cele două ortodrome.

Longitudinea primul vertex *C*, drumul iniţial *Di* şi distanţa ortodromică $AC = d_1$ se calculează prin rezolvarea triunghiului sferic *APC*, dreptunghic în *C*, în care se cunosc ipotenuza $AP = 90° - \varphi_A =$ şi cateta $PC = 90° - \varphi$, astfel:

1 *Longitudinea* λ_C *a primului vertex C:*

Unghiul sferic $APC = \Delta\lambda_C$, deci egal cu diferenţa de longitudine dintre punctul de plecare *A* şi vertexul *C*, este dat de relaţia:

$$\cos \Delta\lambda_C = \text{tg}\ \varphi_A \ \text{ctg}\ \varphi \qquad (34\text{-}9)$$

iar longitudinea λ_C = vertexului *C:*

$$\lambda_C = \lambda_A + \Delta\lambda_C \qquad (34\text{-}10)$$

2 *Drumul iniţial Di:*

$$\sin Di = \cos \varphi \sec \varphi_A \qquad (34\text{-}11)$$

Drumul iniţial se citeşte din tablele logaritmice cu valori cuadrantale, care se transformă apoi în sistemul circular.

3 *Distanţa ortodromică* $AC = d_1$:

$$\cos d_1 = \sin \varphi_A \ \text{cosec}\ \varphi \qquad (34\text{-}12)$$

Longitudinea celui de-al doilea vertex D, drumul final Df și distanța ortodromică $DB = d_2$ se calculează prin rezolvarea triunghiului sferic BDP, dreptunghic în D, în care se cunoaște ipotenuza $BP = 90° - \varphi_B$ și cateta $PD = 90° - \varphi$, astfel:

4 *Longitudinea λ_D a celui de al doilea vertex D:*

Unghiul sferic $BPD = \Delta\lambda_D$, egal cu diferența de longitudine dintre punctul B și vertexul D este dat de relația:

$$\cos \Delta\lambda_D = \text{tg}\ \varphi_B \text{ ctg}\ \varphi \qquad (34\text{-}13)$$

iar longitudinea λ_D:

$$\lambda_D = \lambda_B - \Delta\lambda_D \qquad (34\text{-}14)$$

5 *Drumul final Df:*

$$\sin Df = \cos \varphi \sec \varphi_B, \qquad (34\text{-}15)$$

care se citește din tablele logaritmice cu valori cuadrantale și se transformă apoi în sistemul circular.

6 *Distanța ortodromică $DB = d_2$:*

$$\cos d_2 = \sin \varphi_B \text{ cosec } \varphi \qquad (34\text{—}16)$$

7 *Distanța CD pe paralelul limită.*

Această distanță este egală cu deplasarea est-vest:

$$e = \Delta\lambda \cos \varphi,$$

unde $\Delta\lambda = \lambda_D - \lambda_C$, deci egal cu diferența de longitudine a vertexelor C și D iar φ = longitudinea paralelului limită pp'.

8 *Distanța totală m pe drumul mixt ABCD* se obține din suma:

$$m = d_1 + e + d_2 \qquad (34\text{-}17)$$

9 *Latitudinea φ_Z a unui punct intermediar Z de pe una din cele două ortodrome.*

Se calculează prin rezolvarea triunghiului sferic ZCP, dreptunghic în C, în care se cunoaște cateta $CP = 90° - \varphi$ și unghiul sferic $ZPC = \Delta\lambda_Z$, egal deci cu diferența de longitudine dintre Z și C, astfel:

$$\text{tg}\ \varphi_Z = \text{tg}\ \varphi \cos \Delta\lambda Z \qquad (34\text{-}18)$$

Longitudinile punctelor intermediare ale celor două ortodrome se stabilesc în modul indicat la §2.

Exemplu. O navă pleacă de la insula Tristan da Cunha (φ_A = 37°03'S; λ_A = 12°18'W) spre *Tasmania* (φ_B = 44°00'; λ_B = 145°00'E). Paralelul limită pentru executarea traversadei este cel de latitudine φ = 52°00'S. Se cere să se calculeze elementele drumului mixt; punctele intermediare sunt intersecțiile drumului mixt cu meridianele

de longitudine din 10° în 10°, începând cu punctul în care drumul este intersectat de meridianul 20°E, până în punctul de sosire.

Rezolvare:

a – Longitudinea vertexului *C*
(Formulele 34-9 și 34-10)

$\log \operatorname{tg} \varphi_A = 9.87790$
$\log \operatorname{ctg} \varphi = 9.89281$

$\log \cos \Delta\lambda_C = 9.77071$
$\Delta\lambda_C = +53°51'.4$
$+\lambda_A = -12°18'.0$
$\lambda_C = +41°33'.4$

b – Drumul inițial *Di*
(Formula 34-11)

$\log \cos \varphi = 9.78934$
$\log \sec \varphi_A = 0.09794$

$\log \sin Di = 9.88728$
$Di = 50°28'.8$
$Di = SE\ 50°.5 = 129°.5$

c – Distanța ortodromică *d*1
(Formula 34-12)

$\log \sin \varphi_A = 9.77997$
$\log \operatorname{cosec} \varphi = 0.10347$

$\log \cos d_1 = 9.88344$
$d_1 = 40°07'.6$
$d_1 = (40° \times 60') + 07'.6 = 2407.6$ Mm

d – Longitudinea vertexului *D*.
(formulele 34-13 și 34-14)

$\log \operatorname{tg} \varphi_B = 9.98484$
$\log \operatorname{ctg} \varphi = 9.89281$

$\log \cos \Delta\lambda_D = 9.87765$
$\Delta\lambda_D = +41°01'.2$
$\lambda_B = +145°00'$
$-\Delta\lambda_D = +41°01'.2$

$\lambda_D = +103°58'.8$

e – Drumul final *Df*
(formula 34-15)

$\log \cos \varphi = 9.78934$
$\log \sec \varphi_B = 0.14307$

$\log \sin Df = 9.93241$
$Df = 58°51'.4$
$Df = NE\ 58°.9 = 58°.9$

f – Distanța ortodromică *d*2
Formula 34-16)

$\log \sin \varphi_B = 9.84177$
$\log \operatorname{cosec} \varphi = 0.10347$

$\log \cos d_2 = 9.94524$
$d2 = 28°10'.3$
$d2 = (28° \times 60') + 10'.3 = 1690.3$ Mm

g – Distanța pe paralelul limită
(formula 7-3')

$\Delta\lambda = \lambda_D - \lambda_C = 3745'.4$
$\log \Delta\lambda = 3.57530$
$\log \cos \varphi = 1.78934$

$\log e = 3.36284$
$e = 2305.9$ Mm

h – Distanța totală *m*
(formula 34-17)

$d_1 = 2407.6$
$e = 2305.9$
$d_2 = 1690.3$

$m = 6403.8$ Mm

i – Coordonatele punctelor intermediare de pe cele două ortodrome (începând cu punctul de longitudine $\lambda = +20°$).

Punctele intermediare pe ortodroma AC:

Punctul intermediar:	Z_1	Z_2	Z_3
Longitudinea $\lambda_Z =$	+ 20°	+ 30°	+ 40°
$\Delta\lambda_Z = \lambda_C - \lambda_Z =$	21°33'.4	11°33'.4	1°33'.4
$\log \operatorname{tg} \varphi =$ $\log \cos \Delta\lambda_Z =$	0.10719 9.96851	0.10719 9.99111	0.10719 9.99984
$\log \operatorname{tg} \varphi_Z =$ $\varphi_Z =$	0.07570 – 49°58'.1	0.09830 – 51°25'.8	0.10703 – 51°59'.4

Punctele intermediare pe ortodroma DB:

Punctul intermediar:	Z_4	Z_5	Z_6	Z_7
Longitudinea λ_Z =	+ 110°	+ 120°	+ 130°	+ 140°
$\Delta\lambda_Z = \lambda_C - \lambda_Z$ =	6°01'.2	16°01'.2	26°01'.2	36°01'.2
log tg φ = log cos $\Delta\lambda_Z$ =	0.10719 9.99760	0.10719 9.98280	0.10719 9.95359	0.10719 9.90785
log tg φ_Z = φ_Z =	0.10479 – 51°50'.8	0.08999 – 50°53'.6	0.06078 – 48°59'.8	0.01504 – 45°59'.5

Drumurile și distanțele loxodromice între punctele intermediare ale celor două ortodrome se determină în modul indicat la capitolele 8 și 9.

§4 Utilizarea hărții gnomonice în navigația ortodromică

Folosirea hărții gnomonice (vezi cap. 7, § 8) facilitează considerabil rezolvarea practică a problemelor de navigație ortodromică. Se trece pe harta gnomonică punctul de plecare *A* și cel de sosire *B;* dreapta care le unește reprezintă ortodroma *AB* (fig. 34-4). Se citesc pe hartă coordonatele punctelor intermediare Z_1, Z_2, Z_3,... determinate de intersecțiile ortodromei cu meridianele separate de o diferență de longitudine constantă (de un număr întreg de grade) și se trec pe harta Mercator (fig. 34-5). Segmentele AZ_1, Z_1 Z_2,... Z_6B reprezintă loxodromele pe care urmează să se navige din *A* în *B*.

Amiralitatea engleză a editat cinci hărți gnomonice ce acoperă întreaga zonă navigabilă a globului, care se utilizează la bordul navelor noastre maritime, astfel:

– harta 11 *a* – Atlanticul de nord;
– harta 18 *a* – Atlanticul de sud;
– harta 132 – Oceanul Indian;
– harta 42 *a* – Pacificul de nord;
– harta 53 *a* – Pacificul de sud.

Pentru acomodarea cu rețeaua cartografică a hărții gnomonice și modul practic de rezolvare grafică a problemei, se dă următorul exemplu (fig. 34-4): o navă pleacă din punctul $A(\varphi_A$ = 65°00'S; λ_B = 19°00'W). Se cere să se determine latitudinile punctelor intermediare (Z_1, Z_2 etc.), în care ortodroma *AB* taie meridianele de longitudine 50°W, 45°W, 40°W, 35°W, 25°W, precum și drumurile și distanțele loxodromice ce trebuie urmate din *A* în *B*.

Figura 34-4 reprezintă un extras din harta gnomonică 18 *a: Gnomonic chart for facilitating great circle sailing. South Atlantic and Southern Oceans* (Harta gnomonică pentru facilitarea navigației ortodromice. Atlanticul de Sud și Mările Sudului). Este o proiecție gnomonică oblică având centrul proiecției în punctul φ_0 = 40°S (ce nu apare în extrasul din fig. 34-4) și λ_0 = 20°W, care constituie meridianul principal al proiecției.

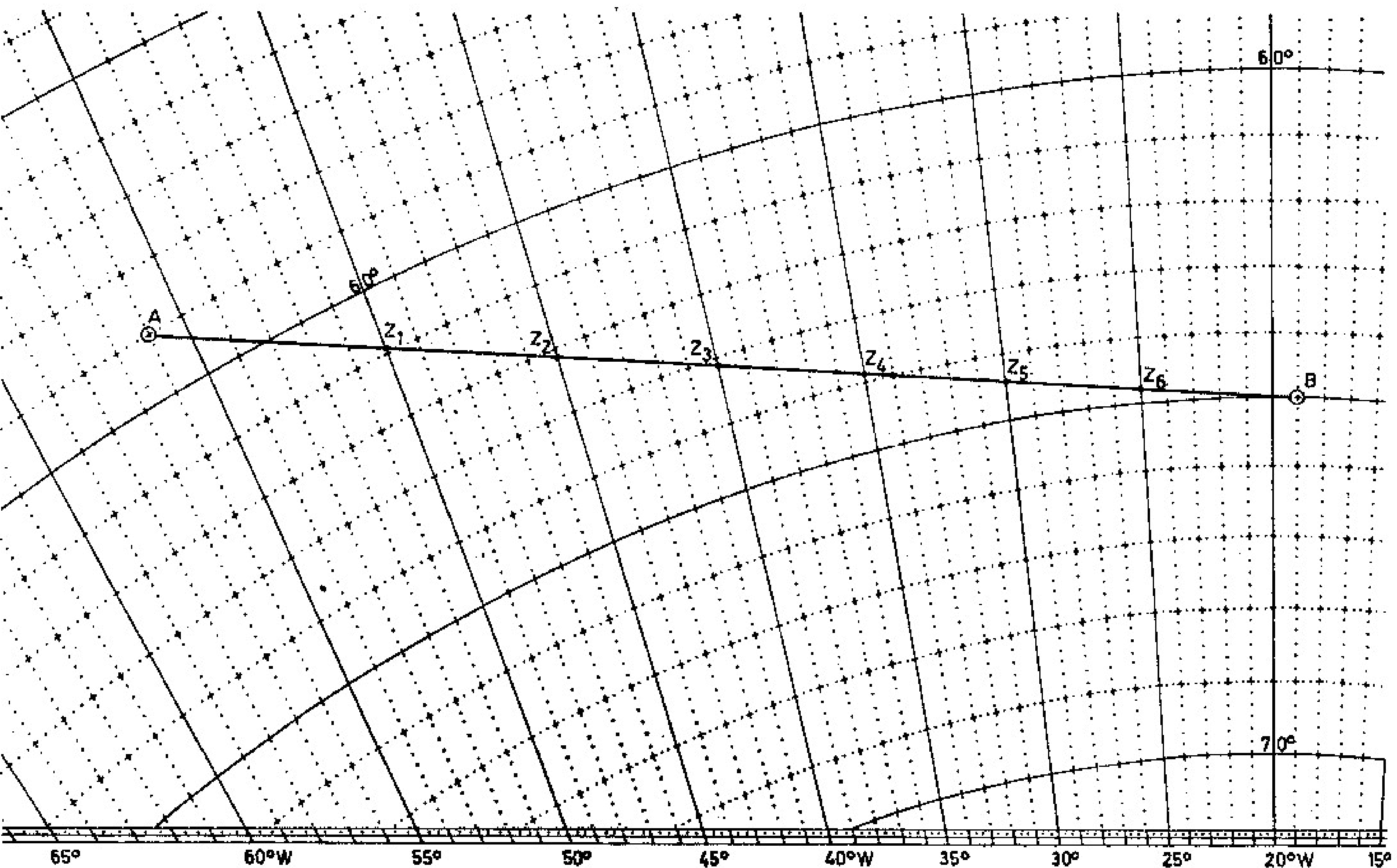


Fig. 34-4

Observarea hărţii conduce spre următoarele constatări privind reţeaua cartografică (se indică în paranteze ceea ce nu apare în extrasul din fig. 34-4):

– scara longitudinilor delimitează zona proiectată spre sud (şi nord), fiind redată la precizie de 1/3° = 20′. Meridianele sunt convergente spre polul emisferei proiectate (Polul sud);

– scara grafică a latitudinilor este redată de-a lungul fiecărui meridian trasat pe hartă, la precizie de 1/6° = 10′. Latitudinile multiplu de 10° sunt notate pe paralelele respective; astfel, în fig. 34-4, paralelele 60°S şi 70°S. Reţeaua de paralele apare sub forma unor conice cu concavitatea spre polul sud, având axa mare pe meridianul principal, de 20°W;

– meridianul principal apare în centrul hărţii, perpendicular pe scările longitudinilor.

Rezolvarea:

– se trece pe harta gnomonică de plecare *A*, la intersecţia paralelului φ_A = 59°00′S cu meridianul λ_A = 56°00′W; în mod similar se trece şi punctul *B* (fig. 34-4);

– se uneşte *A* cu *B* şi se obţine *ortodroma AB*, reprezentată printr-un segment de dreaptă;

– se citesc latitudinile punctelor intermediare Z_1, Z_2..., Z_6, la intersecţia ortodromei *AB* cu meridianele indicate în enunţul problemei (50°W, 45°W etc.). Citirea latitudinilor se face prin interpolare grafică (practic, prin estimare), faţă de scara grafică redată la precizie de 1/6° = 10′ şi prezentată de-a lungul meridianelor prin puncte. Astfel, se stabilesc următoarele latitudini:

– Z_1, la intersecţia cu meridianul 50°W ... φ_1 = 60°55′S;
– Z_2, la intersecţia cu meridianul 45°W ... φ_2 = 62°09′S;
⋮
– Z_6, la intersecţia cu meridianul 25°W ... φ_6 = 64°50′S.

– coordonatele punctelor intermediare Z_1, Z_2, ..., Z_6 astfel determinate se trec pe harta Mercator a zonei (fig. 34-5); curba care le-ar uni, având concavitatea spre ecuator, ar reprezenta ortodroma în proiecţie Mercator;

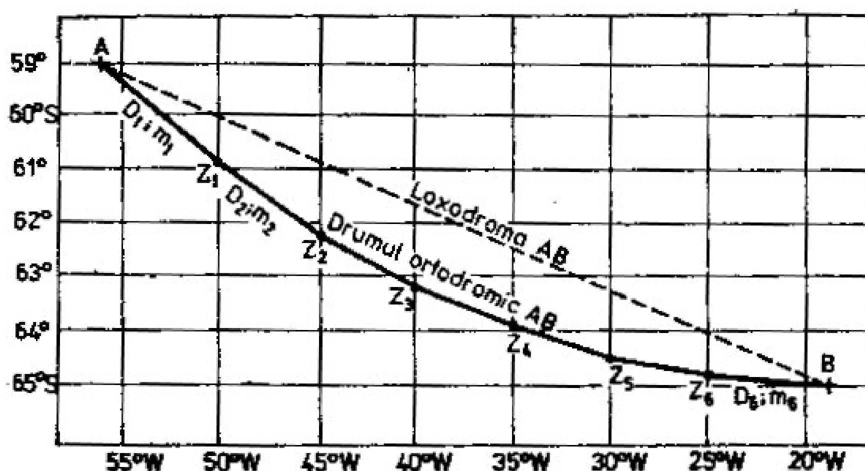


Fig. 34-5

– segmentele AZ_1, Z_1Z_2, ..., Z_6B reprezintă loxodromele pe care nava urmează să navige din *A* în *B*, punctele intermediare Z_1, Z_2, ..., Z_6 fiind punctele de schimbare de drum. Drumurile loxodromice de urmat din *A* în *B* sunt D_1, D_2, ..., D_6 şi respectiv distanţele loxodromice m_1, m_2, ..., m_6, care se determină pe harta Mercator în modul indicat la capitolul 8, § 2 şi capitolul 9, §7.

§5 Alegerea drumului la traversade

Alegerea judicioasă a drumului de navigație funcție de factorii hidrometeorologici dominanți din zonă a constituit dintotdeauna o preocupare în conducerea navelor. Astfel, se știe că navigatorii arabi din Oceanul Indian, precursorii lui Vasco da Gama în aceste locuri, plecau cu corăbiile lor de pe coastele de est ale Africii spre India în perioada musonului de SW și se întorceau folosind musonul de NE.

Cu mult mai târziu, în a doua jumătate a secolului al XVIII-lea, s-a observat că durata traversadelor spre vest, din Anglia spre America de Nord, a corăbiilor care transportau poștă, era mai mare cu aproximativ două săptămâni decât a acelora în sens invers, spre est. Această situație a făcut ca Benjamin Franklyn, pe atunci director general al poștelor în coloniile din America de Nord, să primească sarcina de a analiza și stabili cauzele. Discuțiile avute cu diferiți căpitani de baleniere și concluziile trase din analiza jurnalelor de bord au stat la baza întocmirii în anul 1787, de către Franklyn, a primei hărți cu curenții Atlanticului de Nord, care a adus explicația așteptată. Folosirea ulterioară a acestei hărți a condus la reducerea considerabilă a duratei traversadelor spre vest, prin alegerea unor drumuri mai favorabile.

Activitatea de sitematizare a informațiilor privind curenții și vânturile dominante din diferite zone oceanice a fost organizată în mod metodic începând din anul 1852, concretizându-se prin realizarea unei documentții extrem de utile pentru navigație.

La navele comerciale cu propulsie mecanică, îndeosebi la cele cu putere mică și moderată de propulsie, influența factorilor hidrometeorologici continuă să prezinte un interes considerabil în navigație. Factorii hidrometeorologici cu efecte importante asupra siguranței navei și duratei traversadei sunt valurile, vântul, curentul și, în anumite zone, gheața.

Valurile reprezintă pericolul cel mai frecvent pentru navele comerciale.* Ele sunt capabile să provoace reducerea considerabilă a vitezei navei și să constituie un pericol potențial pentru avarii la corp, instalațiile de punte, instalația de guvernare și la marfă. Ruliul dur poate provoca dezarimarea mărfii, cu pericol pentru stabilitatea navei. Ambarcarea de cantități mari de apă la navele cu marfă pe punte, care navigă într-o zonă cu valuri interferate („confuze"), unde nu se poate menține o alură de capă, poate să compromită stabilitatea și chiar flotabilitatea navei.

Vântul și *curentul* se manifestă prin reducerea vitezei și deriva de la drum a navei. Există însă zone, cum este de exemplu cea din Marea Arabiei, la sud-est de Insula Socotra, unde pe timpul musonului de SW efectele însumate ale valurilor, curentului și ale vântului fac ca zona să devină nepracticabilă pentru navigația pe drumuri directe spre Capul Guardafui, a navelor ce merg spre Golful Aden și Marea Roșie.

Angajarea navei într-o traversadă trebuie precedată de un studiu atent al condițiilor de navigație și a factorilor hidrometeorologici din zonă, în vederea alegerii drumului cel mai favorabil de urmat. Criteriile care stau la baza alegerii drumului la traversade sunt următoarele:

* Un grup de asigurători maritimi, de exemplu, au raportat că în februarie 1965, datorită efectului valurilor, 7 nave au fost declarate *pierdere totală*, iar alte 253 – ca *pierderi parțiale*.

– să ofere condiții de siguranță împotriva pericolelor hidrometeorologice și de navigație, cu solicitări minime pentru corpul navei, instalații și marfă;

– să permită executarea traversadei în timpul cel mai scurt, asigurând, deci, economie de timp și combustibil, factori deosebit de importanți pentru exploatarea rentabilă a navei.

Soluția optimă la alegerea drumului pentru o traversadă se obține din analiza calităților nautice ale navei, a stării de încărcare în care se află, cât și a condițiilor specifice din sona de traverst, rezultate din studiul documentației nautice, preluând un risc rezonabil și ținând seama de primatul criteriului de siguranță.

Între caracteristicile navei care trebuie avute în vedere la alegerea drumului pentru traversade enumerăm: robustețea, starea tehnică a agregatelor principale, raza de acțiune și viteza. Documentația tehnică și de exploatare a navei, rezultatele ultimei examinări în doc, starea de funcționare a aparatului de propulsie, instalației de guvernare etc. sunt elemente care trebuie să ofere comandantului imaginea robusteței și stării tehnice a navei sale.

Raza de acțiune reprezintă distanța pe care nava poate să o parcurgă cu combustibilul de la bord, stabilită prin deducerea rezervei de combustibil. Ea determină distanța maximă pe care nava poate fi angajată în efectuarea unei traversade. În cazul în care raza de acțiune este mai mică decât distanța dintre punctul de plecare și cel de destinație, drumul de urmat trebuie să asigure una sau mai multe escale în porturi unde este posibilă aprovizionarea cu combustibil. *Rezerva de combustibil* este determinată, în principal, funcție de consum, condițiile hidrometeorologice dominante din zonă, viteza navei și distanța la cel mai apropiat port de refugiu unde este posibilă aprovizionarea cu combustibi. Pe această bază, intreprinderile de navigație întocmesc instrucțiuni pentru calculul rezervei de combustibil.

Viteza navei este un criteriu de seamă pentru luarea deciziei privind drumul de urmat, deoarece aceasta asigură posibilitatea evitării fenomenelor hidrometeorologice periculoase (furtuni tropicale etc.), precum și posibilitatea refugiului spre cel mai apropiat adăpost, când situația impune.

Starea de încărcare a navei, natura mărfurilor, modul de stivuire, arimare și amarare, eventuale precauții ce se impun pe timpul transportului trebuie luate cu atenție în considerație la analiza ce se face în vederea alegerii drumului. Această recomandare are în vedere un dublu aspect: a se preîntâmpina crearea unor situații în care marfa să periclitеze siguranța navei (de exemplu, compromiterea stabilității navei prin dezamararea și deplasarea mărfii etc.); evitarea avariilor la marfă (datorită balansului violent, imposibilitatea ventilării magaziilor etc.).

Condițiile specifice de navigație ale zonei de traversat și cele hidrometeorologice se stabilesc prin studiul documentației de navigație: *hărți marine, cărți pilot, hărți pilot (pilot charts,* publicații lunare pentru diferite zone oceanice care conțin regimul vânturilor, curenților de suprafață, cu recomandarea drumurilor de urmat între diferite porturi), *atlase de curenți, hărți sezoniere cu vânturile dominante* etc. Studiul acestor documente evidențiază faptul că frecvența diferiților factori hidrometeorologici dintr-o anumită zonă poate impune soluții sezoniere diferite în alegerea drumului pentru aceeași navă. Astfel, de exemplu, regimul vânturilor, valurilor și al curenților din Oceanul Indian de Nord în perioadele musonilor de NE și SW

creează condiții de navigație total diferite, care impun stabilirea unor *drumuri recomandate* cu caracter sezonier pentru efectuarea traversadelor.

În navigația oceanică, funcție de calitățile nautice ale navei și condițiile hidrometeorologice din zonă, se practică următoarele procedee pentru stabilirea drumului de urmat la traversade:

– navigația pe octrodrom ce leagă punctul de plecare de cel de destinație, în zonele în care factorii hidrometeorologici nu sunt nefavorabili. Procedeul prezintă avantajul distanței minime de parcurs; calculul elementelor ortodromei se face în modul arătat mai sus la §3 și §4;

– procedeul *drumurilor recomandate,* în zonele cu condiții hidrometeorologice nefavorabile, explicat în cele ce urmează la §6;

– procedeul *drumului optim,* comunicat de servicii meteorologice specializate de la uscat sau stabilit de comandantul navei pe baza prognozelor recepționate la bord cu *receptorul radio de facsimile,* în modul indicat mai jos la §7.

§6 Procedeul drumurilor recomandate

Experiența secolelor în navigație, în diferite zone maritime și oceanice, a fost sintetizată în lucrări de specialitate care conțin *drumurile recomandate* de urmat la executarea traversadelor între diferite porturi ale lumii. O astfel de lucrare este absolut indispensabilă la bordul oricărei nave de cursă lungă, ca făcând parte din documentația obligatorie de navigație.

La bordul navelor noastre comerciale este folosită lucrarea *Ocean Passages for the World (Traversade oceanice ale lumii).* În conținutul ei sunt prezentate condițiile hidrometeorologice din diferitele zone de navigație și *drumurile recomandate* între porturile principale ale lumii pentru navele cu propulsie mecanică, cât și pentru veliere. La stabilirea drumurilor recomandate pentru navele cu propulsie mecanică se au în vedere trei categorii de nave:

– nave cu putere mare de propulsie *(full-powered),* cu o viteză de serviciu de cel puțin 15 Nd;

– nave cu putere moderată *(moderate-powered),* care realizează o viteză de serviciu cuprinsă între 10–15 Nd;

– nave cu o putere mică de propulsie *(low-powered),* cu o viteză de serviciu sub 10 Nd.

Lucrarea are următorul conținut:

– *Secțiunea A,* vânturi oceanice, starea vremii, gheţuri și curenți;

– *Secțiunea B,* drumurile recomandate pentru navele cu propulsie mecanică, organizată în patru părți: I – Oceanul Atlantic; II – Mediterana și Marea Neagră; III – Marea Roșie, Oceanul Indian și Golful Persic; IV – Oceanul Pacific. În fiecare parte sunt prezentate condițiile hidrometeorologice specifice ale zonei și *drumurile recomandate* între diferitele porturi, cu indicarea precauțiilor legate de starea vremii, a mării și a eventualelor pericole de navigație;

– *Secțiunea C, drumuri recomandate* pentru veliere;

– *Secțiunea D,* note și precauții de navigație pentru diferite zone de navigație și traversade, extrem de utile pentru conducerea navei în navigația oceanică.

Studiul atent al unei asemenea lucrări, care sintetizează o experiență îndelungată, cu recomandări și precauții deosebit de importante pentru siguranța navigației, constituie o măsură obligatorie la executarea oricărei traversade. Lucrarea având un caracter de sinteză privitor la condițiile de navigație și cele hidrometeorologice, aprofundarea cunoașterii lor pentru diferitele zone ale traversadei se obține din studiul cărților pilot, hărților pilot (pentru luna respective) și a celorlalte documente nautice.

În zonele oceanice cu condiții hidrometeorologice favorabile, drumurile recomandate sunt drumuri ortodromice, ce leagă punctul de plecare de cel de destinație. În cele mai dese cazuri însă sunt combinații de drumuri loxodromice și ortodromice, funcție de condițiile hidrometeorologice din zonă și de puterea de propulsie a navei. Astfel, de exemplu, traversada de la Gibraltar la New York în perioada 1 iulie–10 aprilie este recomandată în mod diferit:

– *la navele cu putere mare și moderată de propulsie:* „... după ieșirea din strâmtoare și dublarea capului San Vincent, se urmează un drum ortodromic până în punctul $\varphi = 43°00' N$, $\lambda = 50°00' W$; de aici se ia drum loxodromic pentru a dubla nava far Nantuket la sud, după care se navigă spre New York". Distanța totală pe acest drum, ortodromic și loxodromic, este de 3200 Mm;

–*la navele cu putere mică de propulsie:* „... după ieșirea din strâmtoare, se urmează drumul de-a lungul paralelului de latitudine 36°00′ N până la meridianul de longitudine 65°00′ W, de unde se ia drum spre nava far Nantuket și apoi spre New York". Acest drum recomandat este loxodromic în întregime, însumând distanța de 3360 Mm, cu 160 Mm mai lung decât cel recomandat pentru navele cu putere mare și moderată de propulsie. Recomandarea drumului pentru navele cu putere mică de propulsie, din acest exemplu, are în vedere limitarea influenței nefavorabile a curentului Golfului, cât și evitarea zonei cu vânturi puternice situată la nord de paralela 36°N, prin care trece drumul ortodromic recomandat pentru navele cu putere mare și moderată de propulsie.

Drumurile recomandate pentru traversade sunt conținute în trei hărți oceanice:

– No 5305 – *Stemship Routes-Atlantic* (drumurile recomandate pentru navele cu propulsie mecanică în Oceanul Atlantic);

– No 5306 – *Steamship Routes-Indian Ocean* (drumurile recomandate pentru navele cu propulsie mecanică în Oceanul Indian);

– No 5307 – *Steamschip Routes-Pacific* (drumurile recomandate pentru navele cu propulsie mecanică în Oceanul Pacific).

Când drumul recomandat este ortodromic, faptul este menționat în hartă prin expresia *Great Circle* (cerc mare). În cazul când se urmează un asemenea drum, pentru facilitarea determinării drumului ortodromic, în modul indicat mai sus la §4, se recomandă folosirea hărții gnomonice a zonei oceanice de traversat. Zonele oceanice de interes practic pentru navigația ortodromică sunt reprezentate în cinci hărți gnomonice:

– *Chart 11 a – North Atlantic ocean- gnomonic chart for facilitating Great Cicle sailing* (Oceanul Atlantic de Nord – harta gnomonică pentru facilitarea navigației ortodromice):

– *Chart 18 a – South Atlantic and Southern oceans-gnomonic chart for facilitating Great Cicle sailing:*

– *Chart 132 – Indian and Southern ocean-gnomonic chart for facilitating Great Circle sailing:*

– *Chart 42 a – North Pacific ocean-gnomonic chart for facilitating Great Circle sailing;*

– *Chart 53 a – South Pacific and Southern oceans-gnomonic chart for facilitatinf Great Cicle sailing.*

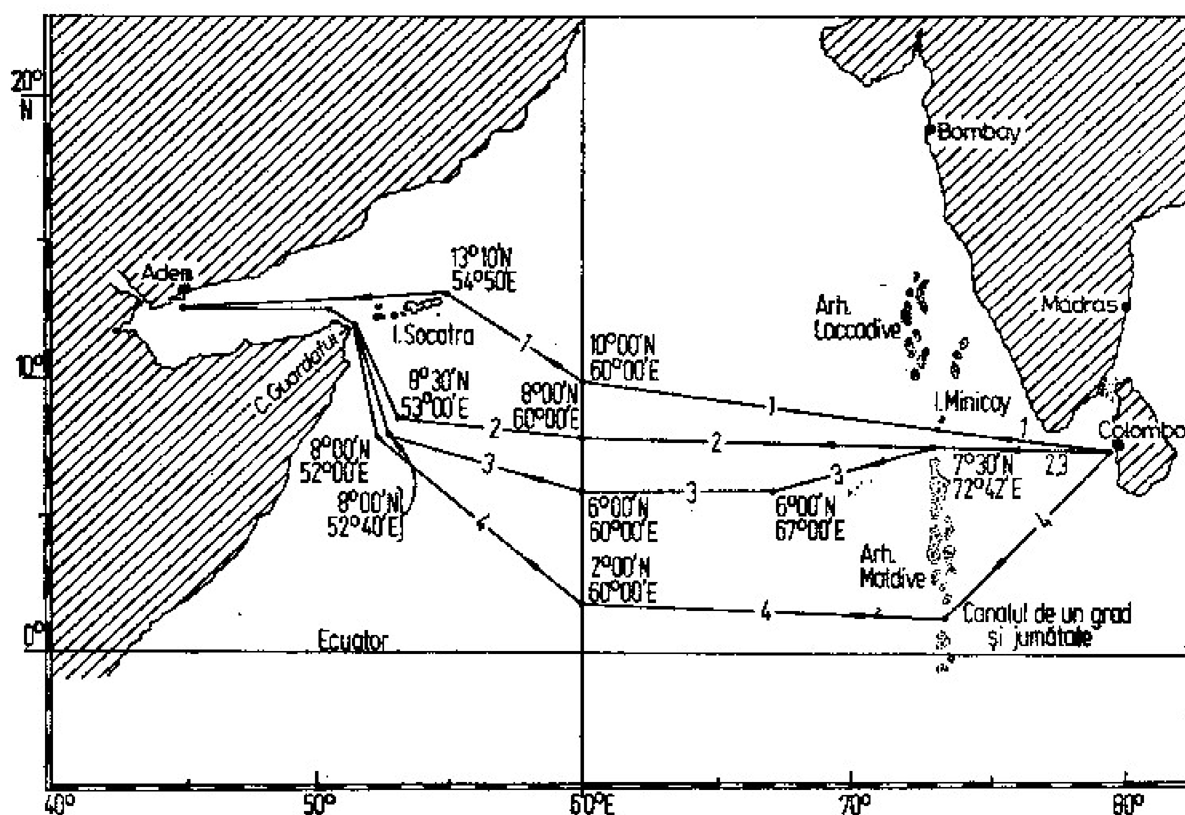


Fig. 34-6

Privind hărțile 5305, 5306 și 5307 conținute în *Ocean Passages for the World,* care ilustrează drumurile recomandate pentru navele cu propulsie mecanică în oceanele Atlantic, Indian și respectiv în Pacific, se observă că precauțiile impuse de factorii hidrometeorologici pot conduce uneori la soluții total diferite de alegere a drumului pentru cele trei categorii de nave cu propulsie mecanică. În scopul de a ilustra acest fapt, prezentăm patru dintre cele opt drumuri recomandate pentru traversada de la Colombo la Aden în perioada musonului de SW, *din mai în septembrie* (34-6), când în zona extinsă la sud-est de Insula Socotra din Marea Arabiei se întâlnesc condiții extrem de grele de navigație – cu valuri enorme, generate de vântul constant din sud-vest și curenți foarte puternici (cu viteze până la 7 Nd în direcția ENE).

1 Drumul recomandat pentru navele mari cu putere mare de propulsie

De la Colombo se ia drum pentru a ateriza la sud de insula Minicoy și, în continuare, spre punctul φ = 10°00′N, λ = 60°00′E. De aici se ia drum spre poziția φ = 13°10′N, λ = 54°50′E, la larg de extremitatea de nord-est a Socotrei

şi apoi spre destinaţie. Se recomandă ca navele să evite apropierea de Socotra, atât ziua cât şi noaptea, deoarece musonul de SW în această zonă atinge intensitatea maximă, curenţii sunt foarte puternici şi de direcţii neregulare, vizibilitatea poate fi limitată din cauza pâclei, iar sonda nu dă indicaţii de prevenire a apropierii insulei, deoarece adâncimile sunt mari până în apropierea coastei. Distanţa pe acest drum de la Colombo la Aden este de 2125 Mm.

2 Drumul recomandat pentru navele cu putere moderată de propulsie

De la Colombo se ia drum spre poziţia φ = 7°30′N, λ = 72°42′E din *Canalul de opt grade*, situat între Arhipeleagul Maldive şi Insula Minicoy; în continuare, spre punctul φ = 8°00′N, λ = 60°00′E şi apoi spre poziţia φ = 8°30′N, λ = 53°00′E, de unde se ia drum pentru dublarea Capului Guardafui şi mai departe spre destinaţie.

3 Drumul recomandat pentru navele cu putere mică de propulsie

De la Colombo se ia drumul spre poziţia φ = 7°30′N, λ = 72°42′E din *Canalul de opt grade* (la fel ca la drumul de la punctul 2 de mai sus), apoi spre poziţia φ = 6°00′N, λ = 60°00′E; de aici se navigă spre poziţia φ = 8°00′N, λ = 52°40′E, de unde se ia drum pentru dublarea capului Guardafui şi mai departe spre destinaţie. Distanţa pe acest drum este de 2290 Mm.

4 Drumul recomandat pentru navele cu viteză mică

De la Colombo se ia drum spre *Canalul de un grad şi jumătate*, aflat în partea de sud a Arhipelagului Maldive; în continuare, se navigă spre o poziţie φ = 2°00′N, λ = 60°00′E, apoi spre punctul φ = 8°00′N, λ = 52°30′E, de unde se ia drum pentru dublarea Capului Guardafui şi mai departe spre destinaţie. Dacă se navigă pe timpul zilei şi vizibilitatea este bună, se recomandă ca aterizarea pe coasta Africii să se facă în zona Capului Ras Hafum.

Distanţa pe acest drum este de 2496 Mm, cu 371 Mm mai lungă decât pe drumul recomandat pentru navele cu putere mare de propulsie. Deşi distanţa deasupra fundului este astfel mărită, pe acest drum este foarte probabil că navele vor evita condiţiile grele de navigaţie cauzate de valuri, vânt şi curenţi din zona aflată mai la nord, având posibilitatea să facă economie de timp şi combustibil. Lucrarea consideră acest drum ca foarte indicat pentru navele cu viteză mică şi obligatoriu pentru navele mici.

Celelalte patru drumuri recomandate de lucrare pentru traversada Colombo-Aden în perioada musonului de SW sunt variante ale celor redate mai sus. Este de

reținut însă că nici chiar pentru navele mari, cu putere mare de propulsie, lucrarea nu recomandă un drum direct Colombo–Insula Minicoy–Cap Guardafui–Aden, cum se navigă în perioada musonului de NE (distanța 2094 Mm). O asemenea tentativă la această categorie de nave, menținând alura mașinii principale pentru valorificarea performanțelor navei, s-ar putea solda cu avarii însemnate la corp și instalații, precum și cu pierderi de timp și consum excesiv de combustibil.

Distanța pe drumul recomandat pentru navele cu putere mică de propulsie poate fi uneori considerabil mai mare decât cea ortodromică. Astfel, de exemplu, distanța pe drumul recomandat de la Cape Town la Stanley (Insula Falkland) este de 4285 Mm, iar pe cel ortodromic – de numai 3333 Mm, deci cu 952 Mm, respectiv cu 22%, mai mare. În acest caz, drumul recomandat are în vedere evitarea vântului constant și puternic de vest, ce bântuie zona străbătută de drumul ortodromic, generând valuri foarte mari.

Consider că exemplele din cele două zone de navigație, date mai sus, sunt suficient de edificatoare pentru a arăta că angajarea navei într-o traversadă oceanică este un act de răspundere și că alegerea drumului de urmat trebuie fundamentată pe o analiză temeinică a calităților nautice ale navei și a condițiilor hidrometeorologice și de navigație din zonă. Tratarea cu superficialitate a acestei probleme sau ignorarea unor precauții rezultate dintr-o experiență îndelungată de navigație din anumite zone oceanice a cauzat multe pierderi de nave, în urma expunerii lor la avarii cauzate de valuri sau rămânerii în voia valurilor fără combustibil, datorită acțiunii unor factori hidrometeorologici previzibili.

La bordul navelor noastre comerciale, în prezent, procedeul drumurilor recomandate obținute din *Ocean Passages for the World* sau din *hărțile pilot*, constituie sistemul de lucru aplicat frevent la alegerea drumurilor pentru traversade .

Din cele arătate se conclude că procedeul drumurilor recomandate se bazează pe date experimentale din diferite zone de navigație, funcție de perioada executării traversadei, considerând valorile medii ce caracterizează valurile, vântul, curentul și ghețurile. De regulă, rezultatele obținute satisfac criteriile de siguranță a navigației și durată a traversadelor, cu excepția cazurilor când condițiile hidrometeorologice întâlnite în zonă diferă considerabil de cele medii, luate în considerație la constituirea drumului recomandat pentru efectuarea traversadei.

Procedeul drumului optim își propune să înlăture acest neajuns.

§7 Procedeul drumului optim

Într-o anumită perioadă care a succedat celui de al II-ea război mondial, efortul principal pentru creșterea rentabilității navei maritime de transport a fost orientat îndeosebi spre reducerea staționării în porturi sub operațiuni de încărcare/descărcare, prin sisteme constructive și de dotare adecvată a navelor (guri de magazii mari, cu capace metalice de închidere de tipul Mac-Gregor, magazii de tipul autorulaj, pompe cu debit mare la tancuri etc.), cât și prin utilarea corespunzătoare a porturilor. Când

obiectivele acestei etape au fost satisfăcute, odată cu introducerea noilor tipuri de nave (port-containere, port-barje, roll on/roll off etc.) și asigurarea facilităților portuare ce realizau, de exemplu – încărcarea/descărcarea unei nave mari cu mărfuri în vrac în perioade de ordinul orelor – performanțe care au revoluționat transporturile maritime, atenția armatorilor de nave comerciale s-a întors din nou spre mare. Se punea problema găsirii unei soluții de navigație care, la o navă de anumite performanțe, să conducă la reducerea pe cât posibil a duratei traversadei.

Soluția a fost inspirată dintr-un procedeu aplicat în navigația aeriană începând din timpul celui de-al II-lea război mondial, care se bazează pe urmarea unui drum astfel încât să se evite pe cât posibil efectele nefavorabile ale factorilor meteorologici, stabiliți prin prognoze.

Procedeul drumului optim (optimum track routieng) constă în selectarea drumului cel mai favorabil, funcție de factorii hidrometeorologici existenți și viitori – stabiliți pe o perioadă suficientă de timp pe bază de prognoze, cât și de calitățile nautice ale navei.

1 Determinarea drumului optim de servicii meteorologice specializate

Vom prezenta întâi procedeul în forma în care operațiunea este preluată de un serviciu meteorologic specializat de la uscat *(weather routeing service)*, care transmite navei drumul optim de urmat și toate informațiile hidrometeorologice necesare. Programul de lucru al stațiilor radio ce deservesc aceste servicii, conținutul mesajelor, sistemul schimbului de informații – în ambele sensuri, între serviciu și navă etc. sunt conținute în *Admiralty List of Radio Signals vol. 3.* Asemenea servicii sunt oferite, de exemplu, de *Oficiul meteorologic Bracknell* (Anglia) pentru Atlanticul și Pacificul de Nord.

Serviciul meteorologic întocmește prognoza de vânt pentru o perioadă variind între 3 și 5 zile, prelucrarea informațiilor primare fiind efectuată cu calculatoare electrice de mare capacitate. Pe baza relației:

$$H = 0.0214\ V_0^{2*}$$

unde H = înălțimea valului în m și V_0 = viteza vântului de suprafață, în m/s, se întocmește harta cu prognoza valurilor pentru o anumită perioadă. Fig. 34-7 redă prognoza valurilor întocmită de Oficiul meteorologic Bracknell la 30 aprilie 1977 ora 00.00 timp mediu la Greenwich pe o perioadă de 48 ore pentru o parte a Atlanticului de Nord.

Curbele reprezentate unesc punctele cu aceeași înălțime de val, exprimată în metri. Săgețile indică direcția valului.

Valurile constituie factorul hidrometeorologic principal de care se ține seama în selectarea drumului optim.

Pe baza observațiilor efectuate privind efectul valurilor și al vântului asupra vitezei navei, se întocmește un *grafic al vitezelor* în cele trei aluri principale – cu

---

* Relație dedusă de Pierson și Moskowitz

valul şi vântul din prova, de travers şi din pupa (fig. 348), considerând că maşina principală merge cu numărul de roţi corespunzător vitezei de serviciu.

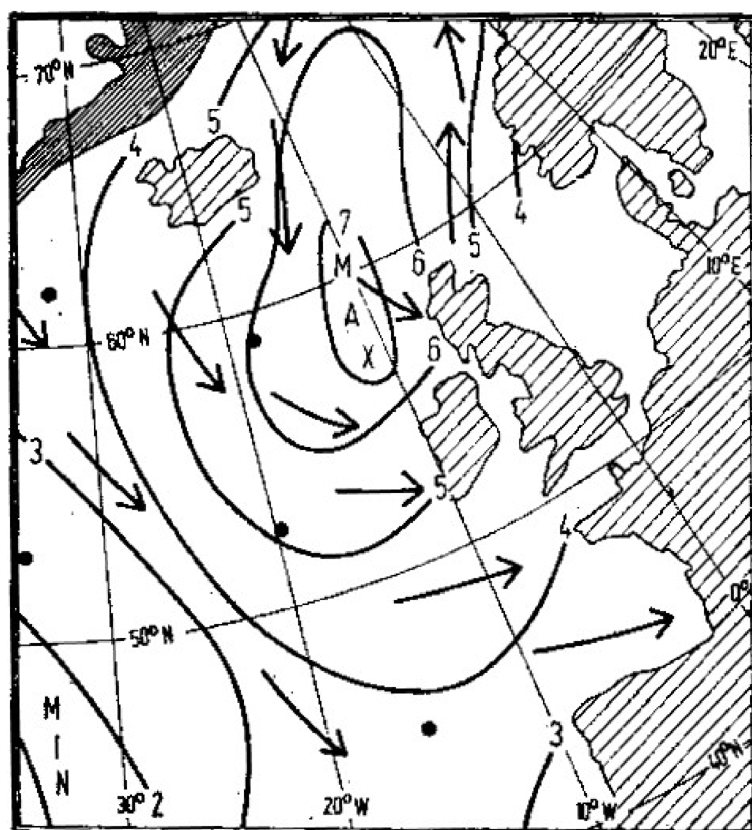
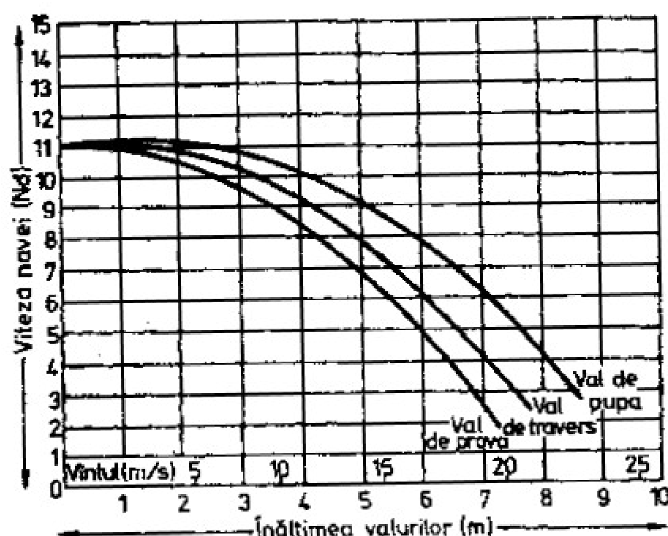


Fig. 34-7

Acest grafic, împreună cu toate informaţiile necesare privind calităţile nautice ale navei, starea de încărcare a mărfurilor şi traversada de executat, se transmit serviciului meteorologic.

Pe baza analizei prognozelor de valuri, vânt, gheţuri, datele privind curenţii şi informaţile referitoare la navă, specialiştii serviciului, formaţi din meteorologi de profil şi comandanţi cu experienţă pe mare, selectează drumul optim de urmat.



Fif. 34-8

Drumul optim astfel selectat, cât și toate informațiile privind starea mării și a vremii, considerate utile, se transmit comandantului navei. Operațiunea începe la plecarea navei din port și se repetă zilnic pe tot timpul traversadei. Nava transmite serviciului meteorologic la intervale de 6 ore informațiile privind desfășurarea navigației: poziția navei, drumul, viteza, starea mării și a vremii.

Analiza pentru selectarea drumului optim se face funcție de obiectivul urmărit de armator prin aplicarea procedeului pentru executarea traversadei, care trebuie făcut cunoscut serviciului meteorologic. Acesta poate fi:

– *executarea traversadei în minimum de timp,* fără a se ține seama de alte condiții. Acesta a constituit inițial obiecivul principal al procedeului, care în prezent, în urma experienței căpătate, se aplică numai la tancurile petroliere, mai puțin susceptibile la avarii la corp și fără periocl de avarii la marfă;

– *executarea traversadei în minimum de timp, cu avarii minime la corp și marfă.* Este obiectivul care se aplică, de regulă, la nivelele mici și mijlocii ce transportă mărfuri generale;

– *executarea traversadei cu avarii minime la marfă,* cu aplicare de regulă la transportul de mărfuri pe punte sau a altor caricuri ce impun măsuri deosebite de precauție;

– *executarea traversadei cu viteză constantă,* cu aplicare la navele care efectuează transporturi în *time-chart,* când navigația trebuie asigurată cu viteza stipulată în contractul de navlosire;

– *executarea traversadei cu realizarea de economii la combustibil,* obiectiv frecvent solicitat îndeosebi la navele cu un consum ridicat. Experiența obținută în acest domeniu la navele mari arată că exploatarea mașinii principale prin menținerea unui regin de putere constantă pe timpul traversadei, dă cele mai bune rezultate, obținându-se economii de combustibil de până la 8%.

Aceste servicii meteorologice acordă asistență pentru aplicarea procedeului drumului optim și la remorcaje de platforme de foraj marin, docuri și macarale plutitoare. Ele indică momentul favorabil de plecare din port, drumul de urmat, adăposturile de folosit, necesitatea intrării la adăpost etc.

În cazul unor transporturi ce impun precauții deosebite, se convin, de regulă, ca specialiștii serviciului să se deplaseze la bord înainte de plecarea în voiaj pentru o documentare completă asupra aspectelor legate de siguranța navei și a mărfii, astfel ca asistența acordată din momentul plecării din port să poată fi efecivă.

2 Aplicarea procedeului de către comandantul navei

În ultima perioadă, un număr tot mai mare de nave este dotat cu *receptoare radio de facsimile (radio facsimile receiver),* denumite în limbajul de la bord „fax", folosit la recepția și înregistrarea hărților hidrometeorologice necesare aplicării procedeului drumului optim – hărți cu prognoza valurilor, vântului, ghețurilor etc. pentru o perioadă de 24 ore. Hărțile sunt transmise de stații radio de la uscat, a căror frecvență de emisie, program de lucru etc. sunt menționate în *Admiralty List of Radio Signals vol. 3.*

Drumul optim se obține din analiza *graficului vitezelor navei* (fig. 34-8) și a prognozei valurilor (fig. 34-7). Se trasează drumul ce unește punctul de plecare *A* cu

cel de destinație B (fig. 34-9); din A se trasează drumurile divergente de direcții AP_1, ..., AP_1'. Folosind *graficul vitezelor navei* în diferitele aluri față de direcția valului și harta cu prognoza valurilor pentru următoarele 24 ore, se determină pozițiile estimate P_1, ... P_1'. ale navei după o zi de navigație, considerând că se urmează drumurile

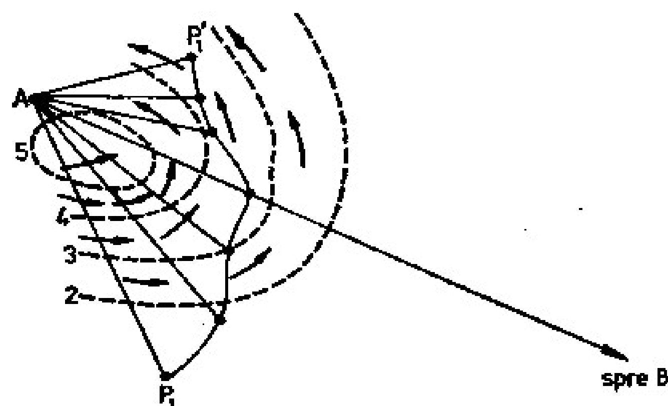


Fig. 34-9

AP_1, ... P_1'. Unind punctele estimate P_1, ..., P_1' se obține *curba pozițiilor probabile* P_1P_1' după o zi de navigație.

Operațiunea se repetă zilnic pe tot timpul traversadei, obținându-se, în continuare, curbele pozițiilor probabile succesive P_2P_2', P_3P_3', etc., după două, trei zile etc. de navigație (fig. 34-10). Se determină apoi punctele cele mai apropiate Z_1Z_2, ... ale acestor curbe de poziția de destinație B, în B. Drumul optim este reprezentat de linia ce unește punctele A, Z_1, Z_2, ..., B, fiind determinat deci funcție de viteza navei în alurile cele mai favorabile față de condițiile de val.

În cazul existenței unor curenți de direcții și viteze cunoscute, transmise prin informațiile radio sau obținute din documentația de navigație (hărți sau atlase de

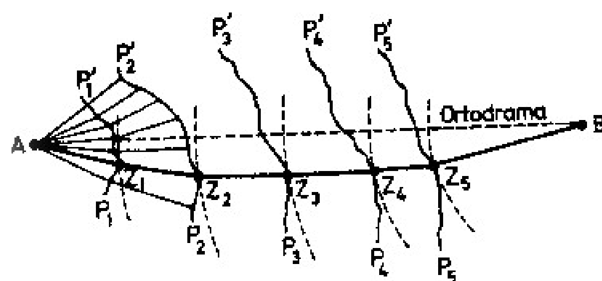


Fig. 34-10

curenți), se corectează curbele P_1P_1', P_2P_2' ... în mod corespunzător. Determinarea curbelor P_1P_1', P_2P_2', ... implică o muncă laborioasă, care în condițiile actuale poate fi considerabil facilitată prin folosirea calculatoarelor electronice (vezi *Anexa* I).

Desigur că aplicarea procedeului prin asistența serviciilor de la uscat dă rezultate mai bune, deoarece:

– informațiile hidrometeorologice pe calea *receptorului radio de facsimile* se obțin cu o oarecare întârziere, iar prognozele sunt date pe perioade ce nu depășesc 24 ore;

– serviciile de la uscat dețin un volum mult mai mare de informații hidrometeorologice, mai actuale și cu prognoze pentru perioade mai lungi, precum și un personal specializat, având la dispoziție o tehnică de calcul de înaltă eficiență.

Taxele percepute de aceste oficii meteorologice pentru asistența acordată sunt, în general, destul de modeste, față de importanța serviciilor aduse*. Experiența arată că aplicarea procedeului, funcție de obiectivul stabilit, are ca efect reducerea apreciabilă a duratei traversadei, economii la consumul de combustibil, evitarea sau diminuarea avariilor la corp și marfă, aspecte de importanță deosebită pentru siguranța navigației și exploatarea rentabilă a navei.

§8 Navigația în zone cu ghețuri

Gheața, sub forma sloiurilor în derivă, a gheții compacte și îndeosebi a ghețarilor *(iceberg)*, prezintă un real pericol pentru siguranța navigației la traversade. De aceea, în cadrul studiului traversadei, comandantul navei trebuie să-și asigure o informare cât mai completă asupra condiției ghețurilor, acolo unde un asemenea pericol este de temut. Ca primă măsură de informare se impune cercetarea documentației nautice ce conține informații privind regimul gheţurilor și anume:

– cărțile pilot *(sailing directions)* ale zonei;

– hărțile lunare cu regimul gheţurilor *(monthly ice charts);*

– hărțile pilot *(pilot chards);*

– *Ocean Passages for the World.*

Informațiile cele mai recente, sub forma *rapoartelor privind gheţurile (ice reports),* furnizate de serviciile de cercetare a gheţurilor din diferite zone, se obțin prin stațiile radio al căror program de lucru este conținut în *Admiralty List of Radio Signals vol. 3.* Pe lângă aceste rapoarte, navele dotate cu *receptoare radio de fascimile* au posibilitatea de a înregistra ultimele hărți cu poziția ghețarilor și gheţurilor, precum și toate elementele de prognoză care interesează siguranța navigației: grosimea gheții, mărimea ghețarilor, traiectoriile pe care le urmează în derivă etc.

Drumul pentru efectuarea traversadei se va alege astfel ca nava să se mențină în afara câmpurilor de gheață și al ghețarilor, chiar dacă se impune o mărire a distanței de parcurs.

Rapoartele privind gheţurile conțin de asemenea informații referitoare la pericolul depunerii de gheață pe suprastructuri, funcție de temperatura aerului și

---

* Date statistice arată reducerea duratei traversadei Oceanului Pacific de Nord la o serie de tancuri petroliere, în medie cu 36 ore, prin aplicarea procedeului drumului optim și o economie de combustibil în jur de 100 tone. În prezent, taxele reprezintă echivalentul valoric a 2 tone de combustibil pentru serviciile acordate la traversarea Atlanticului și respectiv a 3 tone, în cazul traversării Pacificului.

viteza vântului, fenomen care la anumite nave poate să compromită stabilitatea transversală.

În scop de edificare asupra activității serviciilor de cercetare a ghețurilor, redăm succint câteva date asupra *Patrulei internaționale a ghețurilor din Atlanticul de Nord,* zonă oceanică de interes pentru navele noastre.

1 Câteva cuvinte despre Patrula internațională a ghețurilor*

Acest serviciu de cercetare și informare asupra ghețurilor din Atlanticul de Nord, reprezentând zona oceanică cu cel mai intens trafic și, în același timp, cu densitatea cea mai mare de ghețari și ghețuri periculoase navigației, funcționează în virtutea prevederilor *Convenției internaționale pentru ocrotirea vieții umane pe mare – 1960* (Capitolul V – Siguranța navigației, regula 5). Activitatea de supraveghere a ghețurilor se desfășoară în zona delimitată de paralelele 40°N–50°N și meridianele 42°W–60°W, cu atenție deosebită în aria de concentrare a ghețarilor situată la sud-est de Terra Nova, caracterizată totodată printr-o mare aglomerare de nave de pescuit și trafic intens de nave comerciale. Ghețarii se desprind din gheața continentală de pe coasta de vest a Groenlandei și sunt antrenați la sud de curentul Labradorului, ajungând uneori la latitudini frecvente navigației.

Obiectivele serviciului sunt de a supraveghea ghețurile și ghețarii ce constituie un pericol pentru navigație, a le determina traiectoriile pe care sunt derivate, de a avertiza navele din zonă și a efectua cercetări privitoare la formarea și degradarea gheței marine.

Activitatea serviciului începe în momentul când prezența gheței începe să devină un pericol pentru navigație, de regulă din luna martie a fiecărui an și continuă până la sfârșitul lui iulie. Supravegherea se efectuează cu avioane de mare autonomie dotate cu mijloace de detectare a gheții, cu nave de patrulare specializate, capabile de a servi ca *spărgătoare de gheață* și la remorcaje în câmpuri cu ghețuri, iar în ultima perioadă și cu ajutorul unor sateliți.

Totodată, potrivit prevederilor *Convenției internaționale pentru ocrotirea vieții umane pe mare – 1960* (Cap. V, regulile 2 și 3), comandanții navelor comerciale ce navigă în zonă sunt obligați să informeze navele de patrulare sau stațiile de coastă ale serviciului în cazul observării de gheață sau ghețari. Mesajul radio va conține:

– felul gheții;
– poziția ghețarului/gheții, mărimea, forma, grosimea;
– data și ora observației, în timp mediu la Greenwich;
– poziția navei, drumul și viteza;
– starea vremii;
– temperatura aerului și a apei;
– direcția și viteza vântului.

Informațiile colectate sunt prelucrate de calculatoare electronice specializate, iar rezultatele sunt folosite la întocmirea *rapoartelor privind ghețurile (ice reports)* și a

---

* Înființată în anul 1913 după cunoscutul accident de navigație al pachebotului TITANIC, scufundat în aprilie 1912 în urma ciocnirii cu un ghețar în punctul de coordonate $\varphi = 41°46'N$, $\lambda = 50°14'W$, când și-au pierdut viața 1517 oameni.

hărților pentru rețeaua de facsimile, care se transmit la nave prin stațiile de emisie ale serviciului, precum și a prognozelor pe durate până la 30 zile. Se atrage atenția însă că pozițiile estimate ale ghețarilor și a câmpurilor de gheață indicate în prognoze, stabilite pe baza elementelor de derivă (direcții și viteze curent/vânt), pot să nu mai satisfacă exigențele de precizie după intervale de timp considerate de cinci zile.

2 Veghea pentru detectarea gheții

Informațiile primite la bord privind regimul ghețurilor din zona de navigație trebuie însoțite de probabilitatea că pot exista, totuși, ghețari sau ghețuri periculoase rămase neidentificate și deci neraportate, datorită condițiilor de observare sau de execuție a supravegherii. Ca urmare, comandantul trebuie să asigure executarea cu eficiență a unui serviciu de veghe pe comanda navei în scopul detectării ghețurilor.

Experiența navigatorilor din aceste zone a stabilit existența unor fenomene care semnalează apropierea de câmpuri de gheață sau ghețari, astfel:

– apariția unor reflexii luminoase *(ice blink)* pe suprafața inferioară a norilor aflați deasupra unui ghețar sau câmp de gheață, uneori cu mult înainte ca acestea să poată fi observate vizual sau cu radarul. În zilele cu cer senin, acest fenomen poate să ia aspectul de pâclă gălbuie;

– observarea unor sloiuri de gheață mici și izolate arată posibilitatea apropierii de un câmp de gheață;

– calmarea bruscă a mării poate constitui indiciul apropierii *sub vânt* a unui câmp de gheață;

– apariția bruscă a unui banc de ceață poate indica prezența gheții în apropiere.

Radarul *poate* constitui un ajutor de mare preț pentru detectarea ghețarilor și a ghețurilor pe timpul nopții și în condiții de vizibilitate redusă, cu mențiunea însă că exagerarea rolului acestuia în asemenea situații este în măsură să creeze pericolul unei false senzații de siguranță pentru cei de pe comanda navei. În scopul eliminării unui asemenea pericol, se impune reamintirea celor arătate la cap. 30 §8, punctul 5: gheața are proprietăți reflexive reduse, inferioare apei, astfel că *detectarea unui ghețar sau a gheții nu este întotdeauna certă.*

Experiența arată că în situația în care un ghețar nu produce un spot evident pe ecran, prezența acestuia poate fi indicată de un sector îngust, lipsit de ecouri parazite produse de valuri în spatele ghețarului. Explicația este dată de crearea *fenomenului de umbră* pe direcția fasciculului radar, în spatele ghețarului.

Ghețarii sunt detectabili la distanțe, de regulă, până la 4 Mm. Scala radar cea mai indicată de folosit pentru observarea gheții este de 5–6 Mm, funcție de timpul instalației.

Un pericol deosebit pentru nave îl prezintă bucățile mari de gheață *(growler)* rupte de regulă dintr-un ghețar; acestea pot avea o înălțime de mai puțin 1 m deasupra nivelului apei și suprafața de circa 20 m^2, care de cele mai multe ori rămâne neidentificate cu radarul în prezența ecourilor parazite produse de valuri.

În condițiile de vizibilitate redusă, la apariția unui ecou pe ecran se va proceda la măsurarea de relevmente și distanțe succesive la acesta, în scopul de a-l identifica dacă este o navă sau un ghețar. În cazul unui ghețar, măsurătorile radar indică o mișcare relativă a acestuia egală și de sens contrar cu mișcarea navei proprii, cu mici abateri cauzatoare de derivă. Evitarea ghețarilor se recomandă să se facă la distanță mare, deoarece în apropierea acestora se pot afla fragmente desprinse de ghețari *(growler)*, a căror prezență nu este indicată, de regulă, pe ecranul radarului.

Cele arătate mai sus impun următoarele măsuri de precauție pe timpul navigației în zone unde este posibilă întâlnirea cu ghețari sau câmpuri de gheață:

– întărirea veghei de navigație; menținerea instalației radar în funcție la nivelul celor mai înalte performanțe de detectare;

– închiderea porților etanșe și menținerea pompelor în stare de pregătire;

– pe timpul nopții și în condiții de vizibilitate redusă, se navigă cu viteză redusă, având mașina principală pregătită pentru a fi pusă toată viteza înapoi, în scopul opririi navei. Dacă informațiile obținute indică ghețuri în apropiere se recomandă stoparea mașinii și rămânerea în derivă;

– în cazul obținerii de informații privind existența gheții sau a ghețarilor, cu indicarea poziției acestora, se va proceda la schimbarea drumului astfel ca să se elimine posibilitatea întâlnirii lor.

3 Navigația printr-un câmp de gheață

Când în drum spre punctul de destinație nava este obligată să treacă printr-un câmp de gheață spart, navigând autonom fără protecția unui spărgător de gheață, se impune a se lua toate măsurile pentru siguranța navigației.

În primul rând este de menționat faptul că angajarea într-o astfel de navigație este admisă doar navelor construite cu întărituri pentru gheață, al căror simbol de clasă este completat cu semnul* ce indică condițiile de gheață prin care este aptă să navige. Considerând că această condiție esențială este satisfăcută, comandantul navei se va informa din timp asupra drumului recomandat de către serviciul de cercetare din zonă pentru trecerea câmpului de gheață, precum și alte eventuale precauții de luat.

La apropierea de câmpul de gheață, nava trebuie să fie pregătită cu atenție: închiderea porților etanșe, corpul lochului se trage în interior, se verifică buna stare de funcționare a mașinii principale, a instalației de guvernare, a pompelor, a aparaturii de navigație, se întărește veghea de navigație etc.

---

* *Registrul Naval Român* acordă simbolul de clasă pentru navigația în gheață – *G 10, G 20, ..., G 60,* funcție de categoria întăriturilor. Astfel simbolul *G 10* este acordat navelor ce navigă ocazional prin *ghețuri sparte mărunt,* în mările temperate care îngheață uneori, reprezentând condițiile de gheață cele mai ușoare. Condițiile de limitare cresc cu indicele simbolului, cel mai restrictiv fiind reprezentat de *G 60* – care este acordat navelor destinate navigației în urma spărgătorului de gheață sau autonome – prin ghețuri sparte masiv, în mările polare sau prin câmpuri de gheață compactă cu grosimi până la 0.5 m.

Pentru navigația în gheață, experiența arată ca utile următoarele măsuri:

– intrarea în câmpul de gheață se face cu viteză foarte redusă. După luarea contactului cu gheața, viteza va fi mărită treptat astfel ca nava să poată fi menținută bine la drum, la nivelul permis de condițiile câmpului de gheață;

– mașina principală se menține gata de manevră, pregătită pentru comanda *toată viteza înainte*, în cazul apariției unor obstacole în prova;

– elicea este partea navei cea mai expusă la avarii, prin impactul cu sloiurile de gheață, fapt ce impune atenție deosebită la *punerea mașinii înapoi*. Ca măsură de precauție, se impune ca această manevră să fie precedată de punerea cârmei în *poziția zero;*

– eventualele *aglomerații de gheață* vor fi evitate cu atenție;

– ghețarii aflați în câmpul de gheață se evită la distanță mare, ținând seama de faptul că aceștia sunt derivați îndeosebi sub efectul curentului (adâncimea unui ghețar este mai mare de 6–7 ori decât înălțimea lui), iar sloiurile de gheață sub influența vântului.

Zonele de *apă liberă* din interiorul câmpului de gheață pot fi identificate cu suficientă ușurință cu radarul. Asemenea zone mai pot fi indicate și prin observarea următoarelor fenomene:

– apariția unor pete întunecate, uneori aproape negre, pe suprafața inferioară a norilor de mică altitudine este un indiciu al prezenței *apei libere* dedesubt;

– dâre întunecate în condiții de ceață arată existența *apei libere* în direcția respectivă;

– o dungă întunecată pe suprafața inferioară a unor nori de mare altitudine indică prezența unei zone extinse de *apă liberă* dedesubt.

Determinarea poziției navei și ținerea la zi a navigației în condiții de gheață cere o atenție deosebită.

Procedeul navigației estimate se aplică cu dificultatea datorită faptului că singurul mod de determinare a distanței parcurse se bazează pe metoda *lochului improvizat*, în condiții în care viteza navei se schimbă de regulă la intervale mici de timp. De asemenea, în anumite situații se impun schimbări frecvente de drum, impuse de necesitatea evitării unor obstacole constituite de aglomerări de gheață în prova navei sau de avantajul oferit de zone de *apă liberă*.

În asemenea condiții se conclude necesitatea unui control cât mai des al poziției navei.

Procedeele determinării poziției navei prin folosirea sistemelor electronice de navigație (ordinea de preferință fiind – decca, loran, omega, radiogoniometrul și radarul), prezintă avantajele evidente. În lipsa unor asemenea mijloace, procedeele punctului astronomic cu observații simultane oferă soluții cu bune rezultate.

Folosirea radarului la determinarea poziției navei impune multă atenție la identificarea corectă a obiectelor observate, deoarece acestea pot fi acoperite de ghețari sau zăpadă, situație în care confuziile sunt mult facilitate.

Navigația printr-o zonă obligatorie de trecere blocată de ghețuri se face sub asistența unui spărgător de gheață, mergând în siajul acestuia. Operațiunea se face de regulă în convoi, navigând în pupa spărgătorului de gheață mai multe nave deodată.

Legătura între navă și spărgătorul de gheață se asigură în radiotelefonie. Înainte de începerea asistenței, comandantul trebuie să trimită spărgătorului de gheață

următoarele informaţii legate de navă: tonaj registru brut şi net, viteza de serviciu, clasa pentru gheaţă şi organizaţia de clasificare care a acordat-o, pescajul prova şi pupa, numărul elicilor, puterea maşinii principale.

Înainte de începerea convoierii, comndantul spărgătorului de gheaţă comunică navelor ce urmează să fie asistate următoarele: viteza, distanţa de convoiere, distanţa minimă şi distanţa maximă dintre nave.

Viteza spărgătorului de gheaţă poate fi variabilă, funcţie de rezistenţa opusă de câmpul de gheaţă. Navele din convoi vor varia viteza în mod corespunzător astfel ca să menţină distanţa stabilită.

Distanţa minimă este determinată funcţie de spaţiul necesar navelor asistate pentru a fi oprite prin *punerea maşinii toată viteza înapoi,* în cazul în care spărgătorul ar fi blocat în gheaţă.

Distanţa maximă este stabilită funcţie de condiţiile câmpului de gheaţă şi spaţiul din pupa spărgătorului de-a lungul căruia siajul acestuia se menţine liber de sloiuri. La o distanţă mai mare s-ar impune deci necesitatea repetării operaţiei de îndepărtare a gheţii.

Menţinerea *distanţei de convoiere* dintre nave, stabilită la o valoare cuprinsă între distanţa maximă şi cea minimă, constituie o condiţie a succesului operaţiunii.

§9 Aspectul economic al travrsadei

În condiţiile actuale de exploatare a navelor maritime, îndeosebi a celor de construcţie modernă, cu calităţi nautice superioare şi dotate cu mijloace de navigaţie de înaltă eficienţă, navigaţia trebuie să-şi aducă aportul şi la creşterea rentabilităţii navei. Investiţiile ce se fac la echiparea navelor cu asemenea instalaţii urmăresc un dublu scop: siguranţa în navigaţie şi creşterea eficienţei economice a navei.

În cadrul analizei economice a traversadei executate de o navă, următorii factori prezintă un interes deosebit:

- reducerea duratei traversadei;
- reducerea consumului de combustibil;
- evitarea expunerii navei şi a instalaţiilor la uzuri excesive şi avarii;
- prevenirea avariilor la mărfuri.

Reducerea duratei traversadei, prin alegerea unor drumuri favorabile în navigaţie, are un dublu efect: diminuarea cheltuielilor de exploatare, ştiind că preţul de cost al unei zile de navigaţie este foarte ridicat; creşterea beneficiului pe zi/exploatare, prin reducerea timpului de executare a contractului de transport.

În condiţiile actuale de pe piaţa transporturilor maritime, caracterizate prin scăderea nivelului navlurilor şi creşterea vertiginoasă a preţului combustibililor marini, problema reducerii consumului de combustibil capătă o importanţă deosebită. Reducerea consumului de combustibil la executarea unei traversade se poate realiza pe două căi: prin reducerea duratei traversadei şi exploatarea raţională a maşinilor de propulsie şi auziliare, funcţie de condiţiile de navigaţie. Problema creşte în importanţă la nivele cu putere instalată mare, de regulă la navele de mare tonaj, la care consumul zilnic de combustibil este considerabil: circa 112 tone la un tanc

petrolier de 150 000 tdw şi 80 tone la un petrolier de tipul DACIA (considerând un singur grup Diesel – generator în funcţiune, fără clădiri, la puterea nominală a motorului principal).

Prin conducerea navei, folosind procedee de navigaţie judicioase, pe baze ştiinţifice şi nu de rutină, durata traversadelor se poate reduce uneori cu intervale de timp considerabile. Efectul economic se determină prin convertirea timpului economisit în preţul de cost corespunzător, reprezentând reducerea cheltuielilor de exploatare, cu partea de participare principală – exonomia la consumul de combustibil, la care se adaugă creşterea beneficiului prin diminuarea duratei de executare a contractului de transport.

Avariile la corp şi instalaţii, cauzate uneori de expunerea navei la solicitări nejustificate pe timpul traversadei, cum ar fi de exemplu în cazul menţinerii unei viteze ridicate când se navigă cu prova în val pe mare furtumoasă etc., cauzează pierderi – prin cheltuieli de reparaţii şi imobilizarea navei în vederea executării remedierilor necesare.

Avariile la mărfuri pot cauza cheltuieli de dezdăunare, în cazul în care organul competent prevăzut în contact atribuie navei răspunderea pentru daună şi întoteauna – contribuie la discreditarea armatorului pe piaţa transporturilor maritime, factor de mare semnificaţie în comerţul pe mare.

Când criteriul economic este contradictoriu cu cel de siguranţa navigaţiei, în luarea deciziilor pe puntea de comandă a navei, se acordă desigur prioritate criteriului de siguranţă. Dacă pe comanda navei moderne se adoptă însă o concepţie modernă de navigaţie, fără a ignora nici o clipă primatul siguranţei navigaţiei, se pot găsi suficiente soluţii cu efect pozitiv pentru exploatarea rentabilă a navei.

§10 Indicaţii practice pentru conducerea navei la traversade

1 Pregătirea navei

Înainte de plecarea spre portul de destinaţie, nava trebuie să se afle în *bună stare de navigabilitate,* pregătită din toate punctele de vedere pentru executarea traversadei în depline condiţii de siguranţă. Între măsurile principale de luat sunt de menţionat următoarele:

– nava, instalaţiile şi mecanismele să fie în bună stare tehnică. Clasa navei confirmată şi certificatele internaţionale valabile pentru durata călătoriei;

– aparatura de navigaţie în bună stare de funcţionare, compasul magnetic compensat şi cu deviaţiile determinate, corecţia girocompasului verificată, radiogoniometrul calibrat, lochurile etalonate etc.;

– asigurarea întregii documentaţii de navigaţie necesare pentru executarea traversadei;

– facerea plinului de combustibil, lubrefianţi şi apă; dotarea navei cu piese de schimb prevăzute de *normele de registru,* precum şi cu materialele de înregistrare necesare. Stabilirea porturilor de escală pentru completarea combustibilului, în caz de necesitate;

– asigurarea unei bune stivuiri şi amarări a mărfurilor, funcţie de natura lor, astfel ca acestea să facă corp comun cu nava, luându-se toate măsurile de prevenire împotriva pericolului de detarimare din cauza balansului. În cazul încărcării de

mărfui pe punte, pe lângă măsurile de amarare, se va acorda o deosebită atenţie asigurării condiţiilor de scurgere a apei ambarcate;

– însuşirea tuturor particularităţilor zonei de navigaţie, a condiţiilor hidrometeorologice, hidrografice etc., de către comandantul navei şi ofiţerii care concură la serviciul de cart, pe baza unui studiu de detaliu a documentaţiei nautice. Selectarea şi trasarea preliminară a drumului navei pe harta generală a zonei de traversat, în scopul de a indica orientativ drumul preconizat de comandant.

La navele care aplică *procedeul drumului optim*, se vor transmite în timp util serviciului meteorologic toate informaţiile necesare, aşa cum s-a arătat mai sus la §7, astfel ca acesta să poată asigura asistenţa eficientă a navei din momentul plecării din port până la sosirea în portul de destinaţie.

2 Ţinerea la zi a navigaţiei

Trasarea de detaliu a drumului de urmat pe *hărţile de drum* se face pe etape ale traversadei, funcţie de condiţiile de navigaţie şi prognozele hidrometeorologice recepţionate la bord, folosind procedeele indicate mai sus.

Baza ţinerii la zi a navigaţiei pe timpul traversadei o constituie estima grafică, folosind procedeul indicat la capitolul 8 § 7. Guvernarea navei se asigură după girocompas , ale cărui indicaţii se compară continuu cu cele ale compasului magnetic. După luarea unui nou drum, se va proceda imediat la controlul corecţiei compasului, prin procedeul cel mai precis oferit de condiţiile de navigaţie. Ofiţerul de cart corectează drumul compas funcţie de derive de vânt, val şi curent, informându-l pe comandant. În cazul aplicării procedeului indicat la capitolul 8 § 7 pentru ţinerea la zi a navigaţiei, punctul de la ora 12.00 va fi trecut şi pe harta generală a zonei de traversat, sub controlul comandantului, în scopul de a menţine imaginea geografică a deplasării navei. Ca măsură pentru ridicarea acurateţei estimei, se recomandă verificarea factorului de corecţie al lochului pe timpul traversadei la distanţe sufiient de mari, între puncte determinate cu precizie prin procedee bazate pe observaţie, în zonele lipsite de curenţi permanenţi sau sezonieri.

Estima se verifică continuu prin procedee de poziţie bazate pe observaţie, ale navigaţiei astronomice, precum şi ale sistemelor electronice de navigaţie.

Procedeele navigaţiei astronomice se folosesc pentru determinarea poziţiei navei de cel puţin trei ori pe zi: pe timpul crepusculului de dimineaţă, la culminaţia Soarelui – cu o observaţie înainte de culminaţie şi cea meridiană sau circummeridiană, precum şi la crepusculul de seară, la un interval de timp cât mai scurt după apus (folosind procedeul pregătirii observaţiilor de seară indicat la capitolul 20 §3, punctul 4.). Desigur că, în afara acestor trei momente favorabile, procedeele navigaţiei astronomice vor fi folosite de fiecare dată când necesităţile conducerii navei impun şi condiţiile de observaţie permit. Folosirea calculatoarelor electronice specializate sau de tipul *ştiinţific* la rezolvarea problemelor de navigaţie astronomică (vezi *Anexa I)* prezintă avantaje evidente faţă de metodele clasice, înainte de toate în domeniul rapidităţii şi comodităţii calculului.

La larg, sistemele electronice de navigaţie aduc servicii importante siguranţei navigaţiei şi economiei transporturilor maritime, oferind posibilitatea determinării

continue a poziției navei, indiferent de condițiile de observație. În navigația la larg, receptorul omega prezintă cea mai mare utilitate; el se pune în funcție la plecarea din port și se menține astfel pe tot timpul traversadei până la destinație. Posibilitatea determinării continue a poziției navei, cu observații simultane, fără limitări impuse de condițiile de vizibilitate, la o precizie în limite absolut satisfăcătoare, printr-o procedură extrem de simplă, în orice zonă maritimă sau oceanică a globului, face ca în perspectiva extinderii dotării navelor cu asemenea receptoare, sistemul omega să devină sistemul de bază pentru navigație la larg.

Sistemul loran oferă aceleași avantaje, cu mențiunea că aplicarea lui este limitată la zonele acoperite de stațiile de emisie ale sistemului (vezi fig. 27-12).

Sistemul decca, caracterizat printr-o înaltă precizie și o bătaie utilă limitată la circa 240 Mm, prezintă o valoare deosebită pentru conducerea navei după plecarea din port, cât și la aterizarea pe coastă a portului de destinație, în măsura existenței în zonă a unor stații de emisie ale sistemului.

Pe timpul traversadei, radarul aduce servicii de o deosebită importanță conducerii navei în condiții de vizibilitate redusă la evitarea pericolului de abordaj, precum și la navigația în zone cu ghețuri.

3 Informarea hidrometeorologică

Pe toată durata traversadei, trebuie asigurată o informare hidrometeorologică continuă, prin receptarea prognozelor, a rapoartelor privind gheţurile, înregistrarea hărților din rețeau facsimilelor (hărților cu prognoza valurilor, vântului etc.), precum și a avizelor radio pentru siguranța navigației.

Analiza atentă a condițiilor existente și a prognozelor hidrometeorologice, funcție de calitățile nautice ale navei, trebuie să stea la baza selectării drumului cel mai favorabil de urmat și la luarea măsurilor de precauție necesare pentru siguranța navigației.

Este de reținut însă că pe timpul traversadei, nava poate fi confruntată uneori cu fenomene hidrometeorologice locale, care nu sunt conținute întotdeauna în informațiile transmise de stațiile de coastă sau acestea parvin cu întârziere. De aceea, se impune urmărirea cu atenție a evoluției stării vremii și executarea cu regularitate a observațiilor hidrometeorologice de către ofițerul de cart, care să permită prevederea timpului la bord pentru zona de navigație.

Spre exemplificare, redăm următorul extras din jurnalul de bord personal al autorului, comandant al navei ARDEAL: „21.07.1959 ora 05.00. Virăm ancora din rada portului Penang și plecăm spre Vizagapatam (India), lăsând în urmă frumoasa insulă cu același nume, de pe coasta Malayei, unde am făcut un scurt popas pentru completarea păcurii. A doua zi, în zori, trecem pe lângă Tillanchong, insulă vulcanică foarte îngustă, cu o lungime de vreo 8 mile, din Arhipeleagul Nicobare, unde adâncimile mari până la mal ne-au permis apropierea astfel ca să-i putem admira vegetația luxuriantă ce cobora până în apele oceanului.

Bengalul ne primește cu obișnuitul muson al lunii iulie, din SW, întrerupt de averse de ploaie cu rafale puternice de vânt. În ziua de 25.07.59, mareea barometrică

începe să se abată de la variația ei normală, minimele devin mai evidente decât maximele. Seara, după apus, cerul roșu-arămiu, nori cirro-stratus în formă de filamente cu convergența spre NNW. În dimineața zilei de 26.07.59, barometrul sub media locului pentru perioada respectivă, cu 3 mb, vântul de vest forța 8. Buletinele meteo de la stațiile Rangoon, Calcutta și Madras indică vreme stabilă, musonul moderat.

Era evident însă că drumul urmat ne ducea spre o depresiune în formare. La ora 10.00, luăm drum sud și transmitem stației Madras observațiile și previziunea noastră. În aceeași seară, Madras-Radio confirmă informațiile primite de la noi și transmite formarea unui ciclon de mică extensie, dar foarte violent, format în vechiul nostru drum, care se deplasează cu viteză mare (25 Nd) spre NW, către coasta Orissei.

După îndepărtarea lui, ARDEAL revine la drum spre Vizagapatam".

4 Aterizarea la coastă

Apropierea de coastă impune luarea anumitor măsuri de precauție pentru siguranța navigației, prin întărirea veghei și controlul poziției navei. Până la identificarea coastei, se recomandă verificarea poziției navei prin aplicarea în paralel a cel puțin două sisteme de navigație, pentru confruntarea rezultatelor.

Drumul de aterizare se alege cât mai apoape de normala la linia coastei, într-o zonă care să faciliteze identificarea ei, funcție de balizajul existent, mijloacele de navigație din dotarea navei și condițiile de vizibilitate.

Dacă zona de aterizare este acoperită de un lanț de stații de emisie decca, acest sistem oferă soluția cea mai precisă și comodă, aplicându-se procedeul indicat la capitolul 28, §9, punctul 1. Sistemul loran poate oferi servicii similare, cu o precizie ce satisface exigențele navigației la aterizate, considerând că poziția navei se determină prin efectuarea observațiilor la semnalele undei directe.

În cazul în care zona nu este acoperită de stații ale celor două sisteme hiperbolice, decca sau loran, se recomandă aterizarea cu ajutorul radiogoniometrului, navigând cu prova pe un radiofar de la coastă, situație în care relevmetrul radio se folosește ca relevment direcțional. Observațiile la un al doilea radiofar aflat într-o poziție favorabilă, permit determinarea poziției navei pe relevmetrul direcțional. Dacă adâncimea apei oferă o variație evidentă pe drumul de aterizare, ceea ce constituie un fenomen natural considerând că acesta este foarte aproape de normala la liniile batimetrice, indicațiile sondei ultrason aduc servicii utile pentru a arăta apropierea de coastă.

Cele trei procedee de aterizare menționate mai sus, decca, loran și radiogoniometric, prezintă marele avantaj al posibilității aplicării lor fără limitări cauzate de condițiile de vizibilitate sau de timp de noapte. Importanța acestui avantaj poate fi apreciată la justa valoare doar de cel care a avut prilejul încercării emoțiilor unei aterizări pe timpul unei nopți cu o vizibilitate limitată, așteptând licărirea semnalului luminos al farului de aterizare din prova.

În cazul în care balizajul din zonă nu asigură posibilitatea aplicării celor trei procedee, radarul poate oferi servicii prețioase pentru executarea aterizării, cu

condiția alegerii drumului într-o zonă costieră favorabilă reflexiei fasciculului radar (coastă abruptă, capuri proeminente etc.). Identificarea coastei în acest caz se face folosind procedeul de la capitolul 30, §10, punctul 2.

După ce coasta apare în vedere şi reperele de navigaţie se identifică, conducerea navei spre portul de destinaţie se asigură prin aplicarea procedeelor navigaţiei costiere.

Condiţiile foarte diferite ce se pot întâlni la aterizare, funcţie de aspectul coastei, adâncimea apei, pericole hidrografice, balizajul din zonă, mijloacele de navigaţie din dotarea navei, factorii hidrometeorologici existenţi şi îndeosebi vizibilitatea, cer navigatorului de pe coanda navei o analiză atentă şi selectarea priocedeelor de navigaţie cu efecte optime pentru siguranţa navei şi reducerea duratei traversadei.

Sosirea în portul de destinaţie după o traversadă executată cu succes, oferă navigatorului ce a contribuit la realizarea ei o satisfacţie pe care numai oamenii mării o pot înţelege în întreaga sa profunzime.

ANEXE

ANEXA I

Utilizarea calculatorelor electrice în navigaţie

§1 Consideraţii

În ultima perioadă, pe punţile de comandă ale navelor maritime comerciale sunt introduse noi realizări ale electronicii – calculatoarele, inclusiv minicalculatoarele, *specializate* sau de tipul *ştiinţific*, cu ajutorul cărora se pot rezolva problemele principale de navigaţie loxodromică, ortodromică şi astronomică, precum şi de calcul al elementelor imanevrei de evitare a pericolului de abordaj.

Utilizarea calculatorului electronic asigură precizie şi rapiditate în rezolvarea problemelor de navigaţie, factori de o importanţă deosebită pentru conducerea în siguranţă a navei maritime moderne, cu viteză mare, în condiţiile traficului actual.

În prezent, la bordul navelor maritime este introdusă o varietate mare de calculatoare electronice, de la cele integrate în sisteme sofisticate de navigaţie, până la minicalculatoarele de uz comun. În cele ce urmează ne propunem să prezentăm doar procedura de utilizare a unor calculatoare *specializate* şi a minicalculatoarelor de tipul *ştiinţific (scientific calculator)*, introduse recent la bordul navelor maritime comerciale, în scopul de a contribui la cultivarea interesului navigatorilor pentru folosirea lor la rezolvarea problemelor cu aplicare frecventă în navigaţie. Desigur că fiecare calculator prezintă anumite particularităţi în procedura de calcul, cu care navigatorul trebuie să se familiarizeze prin studierea documentaţiei de operare pusă la dispoziţie de fabricant.

Consider necesar de a elucida însă faptul că folosirea calculatoarelor de acest gen nu reduce cu nimic necesitatea pentru navigator de a cunoaşte bazele teoretice, matematice şi fizice, ale diferitelor probleme de navigaţie ce se pot rezolva şi pe această cale. În toate cazurile, logica procedurilor de folosire se fundamentează tocmai pe cunoaşterea acestor baze, calculatoarele de tipurile introduse la navele maritime comerciale având menirea de a substitui doar utilizarea tablelor logaritmice, a tablelor nautice ce rezolvă anumite formule de navigaţie, a riglei cilindrice etc., cât şi de a facilita soluţionarea diferitelor expresii numerice.

§2 Rezolvarea problemelor principale de navigaţie loxodromică şi ortodromică cu calculatorul electronic SEAMATE-4

Calculatorul numeric SEAMATE-4, din dotarea tancurilor petroliere de tipul DACIA ale cărui funcţiuni principale au fost prezentate la capitolul 23, § 9, are două benzi program pentru calcule de navigaţie:

– *banda program pentru navigaţia astronomică (celo-navigation program tape)*, cu ajutorul căreia se rezolvă problema de punct astronomic (vezi cap. 23, § 9);

– *banda program pentru navigaţia terestră (gen-navigation program tape)*.

Banda program pentru navigaţia terestră conţine două programe principale:

– *programul nr. 1* (PROG No 1) pentru calculul drumului şi distanţei dintre două puncte de coordonate cunoscute, în navigaţia loxodromică şi cea ortodromică. În cazul navigaţiei ortodromice, folosirea programului dă posibilitatea calculului tuturor elementelor care definesc ortodroma ce leagă cele două puncte;

– *programul 2* (PROG No 2) pentru calculul coordonatelor punctului de sosire din coordonatele punctului de plecare, drum şi distanţa parcursă în navigaţia loxodromică şi cea ortodromică.

1 Procedura de calcul a elementelor loxodromei și ortodromei ce leagă două puncte de coordonate date

Se dă punctul de plecare A (φ_A, λ_A) (φ_B, λ_B), se cer elementele care definesc loxodroma și ortodroma ce leagă cele două puncte.

Programul nr. 1 (PROG No 1) rezolvă problema pentru cele două *metode de navigație (sailing method)*, de *navigație loxodromică (Mercator Sailing, M.S.*, notația 1) și de *navigație ortodromică (Great Circle Sailing, G.C.S.*, notația 2). Pentru prima metodă, programul calculează drumul loxodromic D și distanța loxodromică m dintre punctele A și B; pentru cea de a doua metodă, programul oferă posibilitatea calculului tuturor elementelor ortodromei ce leagă cele două puncte: distanța ortodromică M, drumul inițial D_i, drumul final D_f, coordonatele φ_V și λ_V ale vertexului V, latitudinile φ_Z ale punctelor intermediare Z_1, Z_2, Z_3, ... de longitudini λ_Z prestabilite (vezi cap. 34, § 2), precum și drumurile care leagă punctele intermediare.

Selecționarea metodei de navigație de folosit se face pe baza criteriilor analizate la capitolele 9 și 34. Când datele inițiale ale calculului nu oferă criterii evidente de alegere, comoditatea rezolvării cu calculatorul face ușor posibilă soluționarea elementelor problemei pentru ambele metode de navigație, a căror comparație facilitează apoi luarea deciziei.

Schema de calcul a programului nr. 1 pentru determinarea elementelor loxodromei (D și m) și ale ortodromei (M, Di, φ_V, λ_V, φ_{Z1}) ce leagă cele două puncte A și B, funcție de metoda de navigație (1, *M.S.*, loxodromică sau 2, *G.C.S.*, ortodromică) este redată în figura I – 1. Ea arată că pentru soluționarea problemei, calculatorul rezolvă succesiv ecuațiile de calcul al elementelor loxodromei ce leagă punctele A și B de coordonate date, analizate la capitolul 9 și respectiv la capitolul 34.

Schema de calcul indică, de asemenea, că latitudinile φ_Z ale punctelor intermediare și drumurile dintre acestea se calculează prin operații succesive, introducându-se în calculator *numărul de ordine al punctului intermediar (index of calculation for arbitrary position)*, 1, 2, 3, ..., în succesiune normală începând cu primul punct intermediar după cel de plecare, A, precum și longitudinea acestuia λ_{Z_1}, λ_{Z_2}, λ_{Z_3} etc.

În cazul unei *estime compuse*, cum apare, de exemplu, la parcurgerea distanțelor dintre punctele intermediare ale ortodromei, calculatorul însumează distanțele parcurse pe drumurile urmate și afișează *distanța totală („SDIT")*.

Formatul datelor inițiale de calcul este cel indicat de *fișa datelor inițiale pentru navigația terestră, programul nr. 1 (Input data sheet for geo-navigation, program no. 1)* din tabelul I–1, care se completează în vederea introducerii corecte a datelor în calculator. După cum se observă din fișe, datele inițiale de calcul ale programului nr. 1 se introduc prin folosirea următorului cod:

– PROG No = 1... definit de schema de calcul din figura I–1;

– DATA No = 61... distanța inițială de însumat *(initialize of accumulated distance)*. Dacă nu există o asemenea distanță anterior parcursă de luat în considerație, se introduce DATA 0;

– DATA No = 61... metoda de navigație *(sailing method)*, care se introduce prin DATA 1 pentru navigația loxodromică (M.S., *Mercator Sailing)* și DATA 2 pentru navigația ortodromică (G.C.S., *Great Circle Sailing)*;

– DATA No = 62... latitudinea punctului de plecare *(latitude of starting position)*;

– DATA No = 63... longitudinea punctului de plecare *(longitude of starting position)*;

– DATA No = 64... latitudinea punctului de sosire *(latitude of starting position)*;

– DATA No = 65... longitudinea punctului de sosire *(longitude of starting position)*;

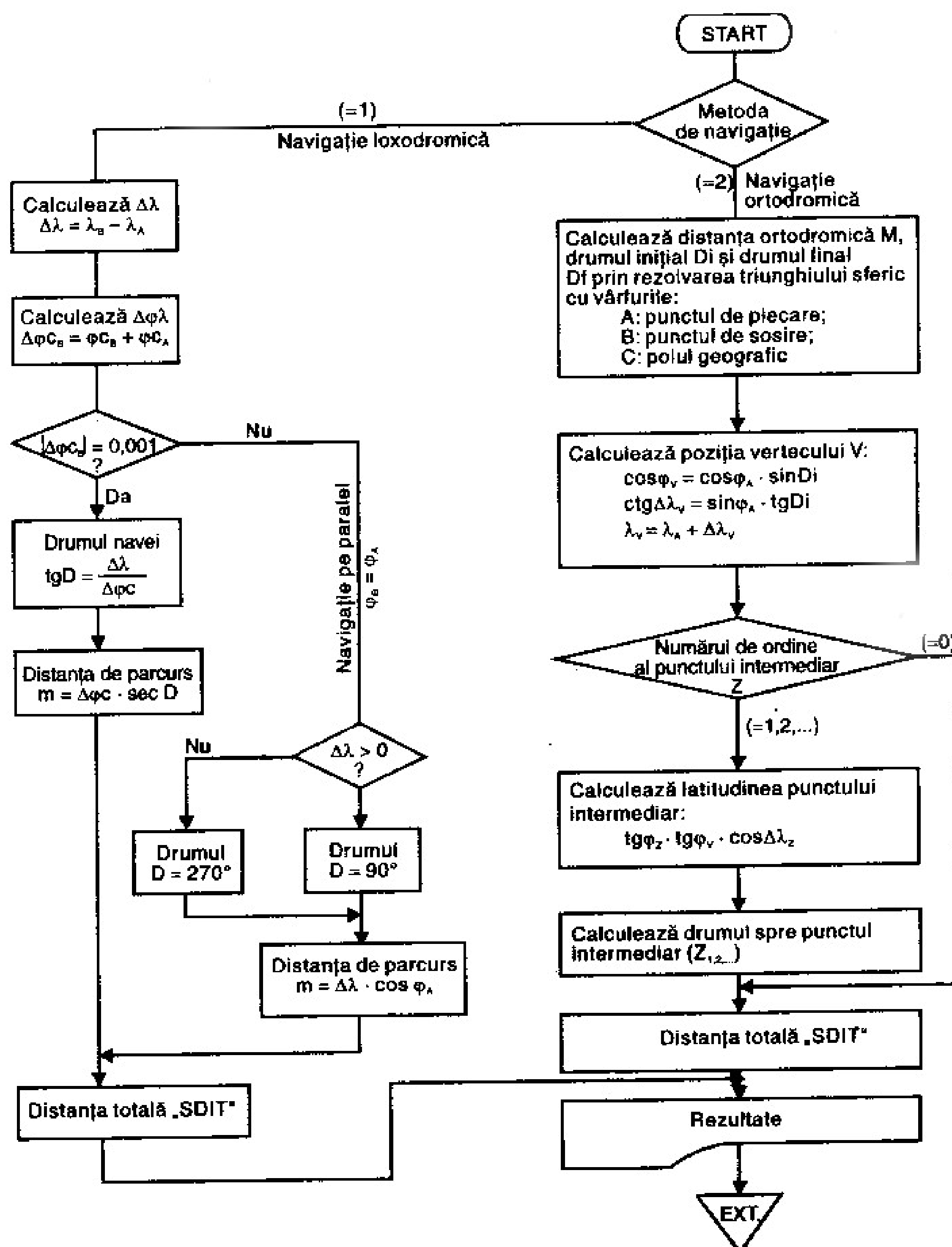


Fig. I-1

– DATA No = 66... valoarea inițială a distanței însumate *(initial value of accumulated distance)*. Dacă nu există o asemenea distanță de luat în considerație, se introduce DATA 0;

– DATA No = 67... numărul de ordine al punctului intermediar *(indez of calculation for arbitrary position)*;

– DATA No = 68... longitudinea puhctului intermediar *(arbitrary longitude)*.

Respectarea riguroasă a formatului de scriere la consolă, care rezervă zona de memorie necesară, condiţionează obţinerea corectă a rezultatelor.

Semnul plus se ignorează; semnul minus, pentru latitudini sudice şi longitudini vestice, se introduce anticipând valorile respective prin acţionarea cheii SW *(South, West)*.

Controlul exacticităţii datelor intrate se face printr-o dublă citire a:

– *indicatorului numeric,* care afişează data intrată după acţionarea pe DATA CALL, constituind o confirmare a depozitării în memoria calculatorului a mărimii respective;

– *benzi imprimate,* de felul celei redate în tabelul I–2, pe care datele intrate sunt tipărite de imprimantă după acţionarea pe cheia IN *(intră!)*.

În cazul când se observă la indicatorul numeric că o dată este afişată eronat, se acţionează pe DATA Clear pentru ştergerea acesteia din memorie, după care se procedează la introducerea ei corectă.

După introducerea datelor iniţiale în calculator se acţionează pe COMP *(computation starting)* pentru începerea calculului şi la consolă se declanşează rularea programului.

După terminarea rulării programului sunt afişate rezultatele prin imprimare pe bandă, în forma din tabelul I–2, folosind următoarele notaţii:

a) – pentru navigaţia loxodromică (1, *M.S.*):

– SDIT = *accumulated distance,* distanţa totală;

– DIST = *distance,* distanţa loxodromică m;

– COU = *corse,* drumul loxodromic D;

b) – pentru navigaţia ortodromică (2, *C.G.S.*):

– pentru navigaţia ortodromică (2, *C.G.S.*):

– SDIT = *accumulated distance,* distanţa totală;

– DIST = *distance,* distanţa ortodromică M;;

– COUS = *initial course,* drumul iniţial D_i;

– LATV = *latitude of zenith,* latitudinea vertexului φ_V;

– LONV = *longitude of zenith,* longitudinea vertexului λ_V;

– COUA = *final course,* drumul final D_f;

– LATQ = *latitude of arbitrary position,* latitudinea φ_Z a punctului intermediar;

– LONQ = *longitude of arbitrary position,* longitudinea λ_Z a punctului intermediar;

– COUQ = *course at arbitrary position,* drumul spre punctul intermediar.

În cazul în care DATA No 61 şi DATA No 66,.cu semnificaţiile indicate mai sus, sunt zero, la afişarea rezultatelor „SDIT" = „DIST".

Pentru elucidarea procedurii de operare a programului nr. 1, se folosesc datele exemplului de la capitolul 34, § 2, punctul de navigaţie ortodromică, prin rezolvarea cu calculatorul SEAMATE-4:

O navă pleacă din punctul A (φ_A = 37°50′N; λ_A = 122°30′W) spre punctul B (φ_B = 35°40′N; λ_B = 140°00′W). Se cer elementele ortodromei ce leagă cele două puncte şi latitudinea punctelor intermediare de longitudine 130°W, 140°W, 150°W, ...150°E.

Rezolvarea problemei cu calculatorul SEAMATE-4 se face astfel:

– se completează *fişa datelor iniţiale pentru navigaţia terestră, programul nr. 1 (Input data sheet for geo-navigation, program no. 1),* respectând codul datelor iniţiale explicat mai sus (tabelul I–1);

– se introduc datele iniţiale în calculator, acordând atenţia cuvenită respectării formatului prevăzut în fişă;

– se acţionează pe COMP *(computation starting),* care declanşează rularea programului de calcul redat în schema din figura I–1, la terminarea căruia rezultatele sunt imprimate pe bandă.

Tabelul I–1

SEAMATE-4

HER NAME		VOY.NO	

INPUT DATA SHEET FOR GEO-NAVIGATION

DATE: ____________________

NAME: ____________________

PROGRAM NO.		No.	Item	+/−				°			′
1	CALCULATION OF DISTANCE	61	SAILING METHOD	0: INITIALIZE OF ACCUMULATED DISTANCE 1: MS. ②: G.C.S.							
		62	LATITUDE OF STARTING POSITION	+ −			3	7°	5	0	0′
		63	LONGITUDE OF STARTING POSITION	+ −	−	1	2	2°	3	0	0′
		64	LATITUDE OF ARRIVAL POSITION	+ −			3	5°	4	0	0′
		65	LONGITUDE OF ARRIVAL POSITION	+ −		1	4	0°	0	0	0′
2	CALCULATION OF ARRIVAL POSITION	71	SAILING METHOD	① M.S. ② G.C.S.							
		72	LATITUDE OF STARTING POSITION	+ −			5	3°	2	0	0′
		73	LONGITUDE OF STARTING POSITION	+ −	−		3	7°	1	2	0′
		74	COURSE					3	1	9	0°
		75	SHIP'S RUN					5	1	0	0 NM

No.	Item	+/−				°			′ / NM
66	INITIAL VALUE OF ACCUMULATED DISTANCE	+ −						0	NM 0
67	INDEX OF CALCULATION FOR ARBITRARY POSITION								1
68		+ −	−	1	3	0°	0	0	0′

O NORTH,) → + EAST

O NORTH,) → − EAST

O DATUM OF DATA NO. 66 IS READ, WHEN DATA NO. 61 IS SET TO BE ZERO.

O DATA NO. 67 & 68 IS IN EFFECT, ONLY WHEN SAILING METHOD IS G.C.S. (GREAT CIRCLE SAILING).

O NORTH, EAST → +
SOUTH, WEST → −

Tabelul I–2 redă banda imprimată cu datele inițiale de calcul și rezultatele problemei, redate prin notațiile explicate mai sus.

Tabelul I–2

PROG	NO = 1		
DATA	NO = 61	DATA =	Ø.ØØ
DATA	NO = 61	DATA = 37	2.ØØ
DATA	NO = 62	DATA = 122	5Ø.ØØ N
DATA	NO = 63	DATA = 35	3Ø.ØØ W
DATA	NO = 64	DATA = 14Ø	4Ø.ØØ N
DATA	NO = 65	DATA =	.ØØ E
DATA	NO = 66	DATA =	.ØØ
DATA	NO = 67	DATA =	1.ØØ
DATA	NO = 68	DATA = 13Ø	.ØØ W

SDIT	=	4	446.2Ø
COUS	=		3Ø3.1Ø
DIST	=	4	446.2Ø
LATV	=	48	35.35 N
LONV	=	169	16.17 W
COUA	=		234.5Ø
LATQ	=	41	16.59 N
COUQ	=		298.3Ø

Comparând valorile rezultatelor date de calculator cu cele stabilite prin calcul logaritmic la capitolul 34, § 2, punctul 5, se observă că ele se confirmă. Drumul din punctul de plecare A spre primul punct intermediar Z_1 ($\varphi = 41°16'.59$; $\lambda = 130°$W) este D_1 = COUQ = 298°.3.

Pentru a calcula drumul din Z_1 spre următorul punct intermediar Z_2, de longitudine λ = 140°W, se introduc în continuare în calculator următoarele date:

– DATA No = 67 ... DATA = 2, reprezentând numărul de ordine al punctului intermediar Z_2 *(index of calculation for arbitrary position Q_2)*;

– DATA No = 68 ... DATA = – 14000.0, reprezentând longitudinea λ = 140°00′ W a punctului intermediar Z_2.

Se acționează pe COMP *(computation starting)* și calculatorul rezolvă problema drumului spre Z_2, pe care îl imprimă pe bandă.

Opereațiunea se repetă apoi pentru determinarea drumului spre punctul intermediar Z_3, folosind aceeași procedură, până când nava ajunge în punctul de sosire B.

2 Procedura de calcul a coordonatelor punctului de sosire din coordonatele punctului de plecare, drum și distanța parcursă

Se dă punctul de plecare $A(\varphi_A, \lambda_A)$, drumul și distanța parcursă de navă; se cer coordonatele punctului de sosire $B(\varphi_B, \lambda_B)$.

Programul nr. 2 (PROG No 2) rezolvă problema pentru cele două *metode de navigație (sailing method)*, de *navigație loxodromică (Mercator Sailing, M.S.*, notația 1) și de *navigație ortodromică (Great Circle Sailing, G.C.S.*, notația 2). Pentru ambele metode de navigație se calculează coordonatele φ_B și λ_B ale punctului de sosire B; pentru cea de navigație ortodromică, se calculează și coordonatele vertexului V.

Schema de calcul a programului nr. 2 pentru determinarea coordonatelor punctului de sosire, din coordonatele punctului de plecare, drum și distanță parcursă, funcție de metoda de navigație (1, *M.S.*, loxodromică sau 2, *C.G.S.*, ortodromică), este cea redată în figura I–2.

Figura I–2 arată că pentru metoda de navigație loxodromică (1, *M.S.*), **schema de calcul** folosește ecuațiile analizate la capitolul 9.

Schema de calcul pentru metoda de navigație ortodromică (2, *C.G.S.*) determină coordonatele punctului de sosire prin rezolvarea triunghiului sferic cu vârfurile în:

A – punctul de plecare;

B – punctul de sosire;

P – polul geografic,

în care se cunosc coordonatele φ_A, λ_A, φ_B, λ_B ale punctelor *A* și *B*, precum și drumul *D* și distanța $M = AB$ (în minute de arc, știind că 1 Mm = 1′ arc de cerc mare).

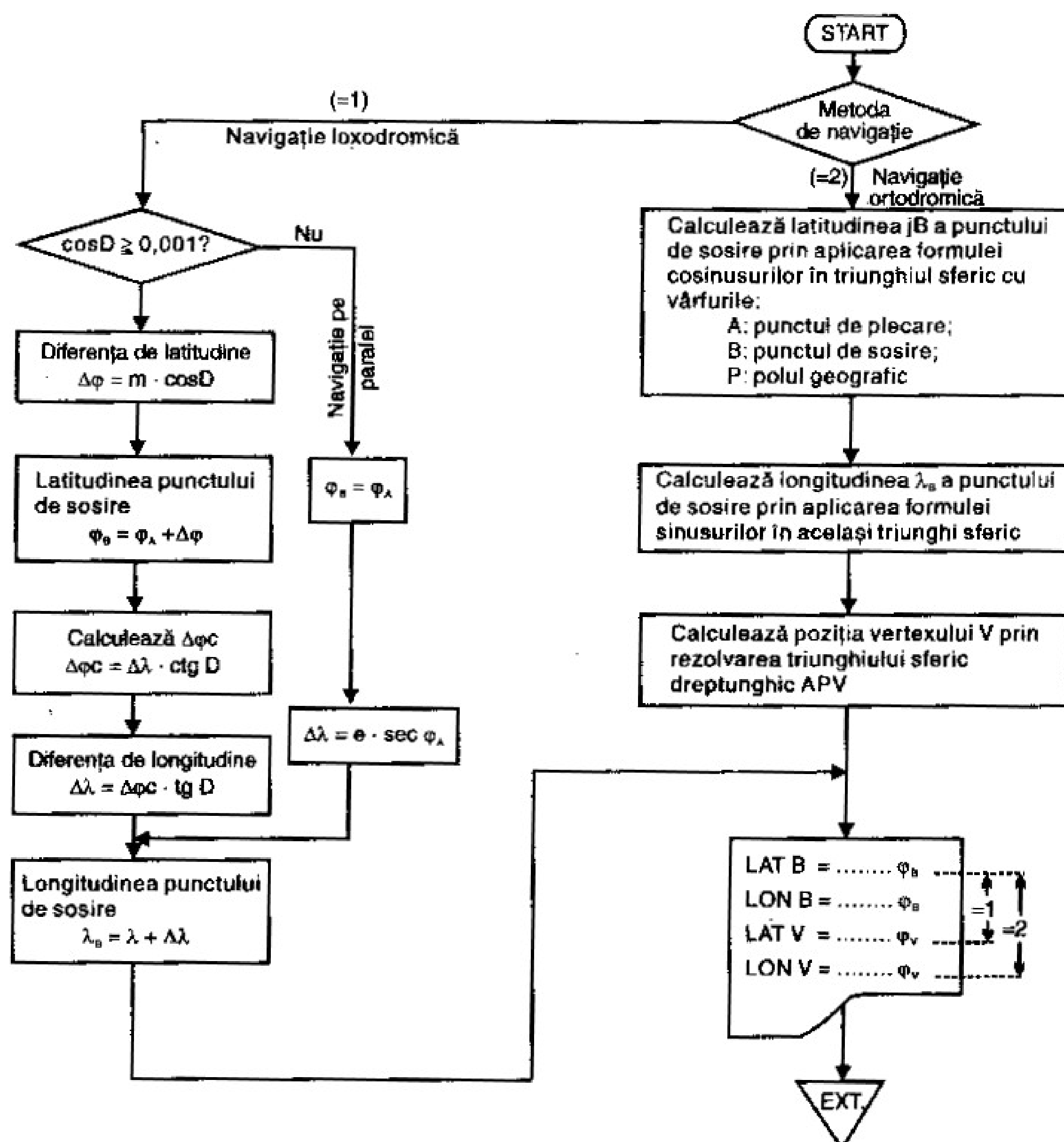


Fig. I-2

Latitudinea φ_B a punctului de sosire *B* se calculează prin aplicarea formulei cosinusurilor laturilor în triunghiul sferic *ABP* (fig. I-3):

$\cos(90° - \varphi_B) = \cos(90° - \varphi_A)\cos M + \sin(90° - \varphi_A)\sin M \cos D$ de unde:

$\sin \varphi B = \sin \varphi_A \cos M + \cos \varphi_A \sin M \cos D$ ....(I-1)

Longitudinea λ_B a punctului de sosire B se calculează prin aplicarea formulei sinusurilor în triunghiul sferic ABP:

$$\frac{\sin \Delta\lambda}{\sin M} = \frac{\sin D}{\sin (90^\circ - \varphi_B)}$$

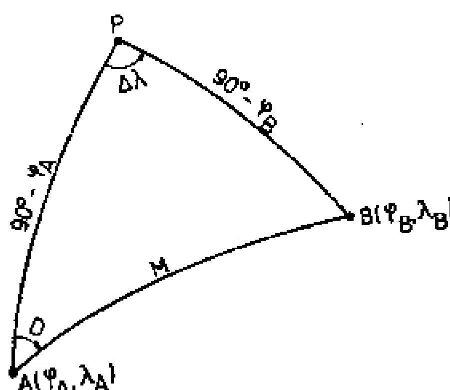


Fig. I-3

de unde:

$\sin \Delta\lambda = \sin D \sin M \sec \varphi_B$ ....(I-2)

iar longitudinea punctului de sosire:

$$\lambda_B = \lambda_A + \Delta\lambda$$

Formatul datelor inițiale de calcul este redat de *fișa datelor inițiale pentru navigația terestră, programul nr. 2 (Input data sheet for geo-navigation, program no. 2)* din tabelul I-1. După cum se observă din acesta, datele inițiale de calcul ale programului nr. 2 folosesc următorul cod:

– PROG No = 2 ... care rezolvă schema de calcul din figura I-2;

– DATA No = 71 ... metoda de navigație *(sailing method)*, care se introduce prin DATA 1 pentru navigația loxodromică *(M. S., Mercator Sailing)* și DATA 2 pentru navigația ortodromică *(G.C.S., Great Circle Sailing)*;

– DATA No = 72 ... latitudinea punctului de plecare *(latitude of starting position)*;

– DATA No = 73 ... longitudinea punctului de plecare *(longitude of starting position)*;

– DATA No = 74 ... drumul navei *(course)*;

– DATA No = 75 ... distanța parcursă *(ship's run)*.

Indicațiile date mai sus la punctul 1, privind respectarea formatului, introducerea semnelor algebrice și controlul preciziei datelor intrate sunt deopotrivă valabile și pentru programul nr. 2.

După rularea programului, în urma acționării pe COMP *(Computation starting)*, rezultatele sunt afișate prin imprimare pe bandă, în forma din tabelul I-3, folosind următoarele notații:

– LAT B = latitudinea punctului de sosire B;

– LON B = longitudinea punctului de sosire B;

– LAT V = latitudinea vertexului V;

– LON V = longitudinea vertexului V.

Ultimele două rezultate sunt date numai în cazul aplicării metodei navigației ortodromice (2, *C.G.S.*).

În scop de exemplificare a operării programului nr. 2, se folosesc datele exercițiului de la cap. 9, § 6, punctul 2.

O navă pleacă din A (φ_A = 53°20'N; λ_A = 37°12'W) în drum 319°, distanța parcursă 510 Mm. Se cere determinarea coordonatelor punctului de sosire cu calculatorul SEAMATE-4, folosind ambele metode de navigație (loxodromică și ortodromică).

Datele inițiale de calcul sunt înscrise în fișa în *tabelul I-1, programul nr. 2*, în formatul de introducere în calculator.

Programul este rulat mai întâi pentru metoda de navigație loxodromică (DATA No = 71 ... DATA = 1), introducând datele 71–75, în modul indicat în tabelul I-3, care redă banda imprimată a acestui calcul, cu coordonatele punctului estimat de sosire *B* (LAT *B* = 59°44'.90 N; LON *B* = 47°19'.40 W).

Tabelul I-3

PROG		NO = 2				
DATA		NO = 71			DATA =	1.ØØ
DATA		NO = 72			DATA = 53	2Ø.ØØ
DATA		NO = 73			DATA = 37	12.ØØ W
DATA		NO = 74			DATA =	319.ØØ
DATA		NO = 75			DATA =	51Ø.ØØ
	LATB	=		44.9Ø N		
	LONB	=	4	19.4Ø W		
DATA		NO = 71			DATA =	2.ØØ
	LATB	=	169	18.5 Ø N		
	LONB	=		9.12 W		
	LATV	=	41	56.11 N		
	LONV	=		18.77 W		

Pentru rularea în continuare a programului metodei de navigație ortodromică (2, C.G.S.) se introduce apoi în calculator DATA No = 71 ... DATA = 2, după care se acționează pe COMP *(Computation starting)*, obținându-se coordonatele punctului de spsire (LAT *B*, LON *B*) navigând pe ortodromă, cât și cele ale vertexului (LAT *V*, LON *V*), cu valorile indicate în tabelul I-3.

§3 Minicalculatorul de navigație TAMAYA NC-2

TAMAYA ASTRO-NAVIGATION CALCULATOR NC-2, al cărui panou este prezentat în figura I-4 este unul dintre minicalculatoarele specializate de navigație ce soluționează câteva probleme cu aplicație frecventă în navigația loxodromică, ortodromică și astronomică. În acest scop, acesta conține o bibliotecă de nouă programe permanente de navigație astfel:

1) – calculul coordonatelor punctului de sosire din coordonatele punctului de plecare, drum și distanța parcursă. Cheia programului este *DR* – *MP* (*De*ad *Re*ckoning – *Mo*st *Pr*obable *Po*sition);

2) – calculul drumului și distanței de parcurs între două puncte de coordonate date. Cheia programului este *CD* (*C*ourse and *D*istance by Mercator and mid-latitude sailing);

3) – calculul distanței ortodromice și a drumului inițial din coordonatele punctului de plecare și ale celui de sosire. Cheia programului *GC* (*G*reat *C*ircle sailing);

4) – calculul înălțimii și azimutului unui astru. Cheia programului este *LOP* (*L*ine *O*f *P*osition);

5) – determinarea punctului navei cu drepte de înălţime. Cheia programului este *DR–MP* (*Dead Reckoning Most Probable Position*);

6) – convertiri din timp în arc. Cheia programului este *TIME;*

7) – convertiri din arc în timp. Cheia programului este *ARC;*

8) – operaţiuni cu mărimi de timp. Cheia programului este *TIME;*

9) – operaţiuni cu mărimi de arc. Cheia programului este *ARC.*

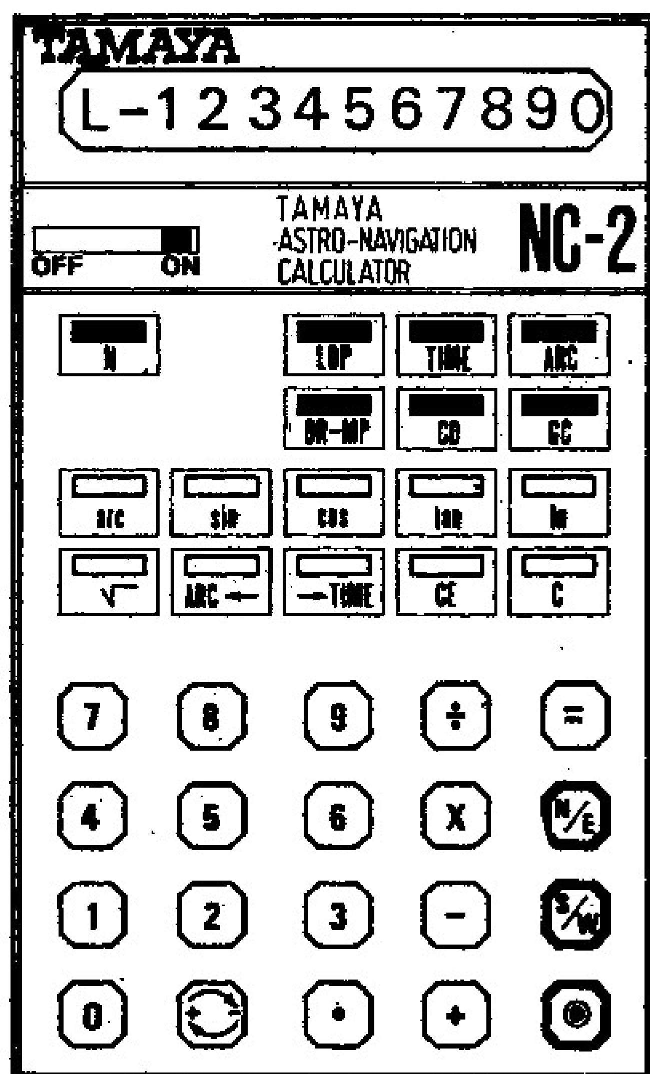


Fig. I-4

Minicalculatorul este prevăzut cu două memorii, care sunt folosite la rezolvarea programelor de navigaţie *DR–MP, CD, GC* şi *LOP.* Aceste programe soluţionează ecuaţiile de calcul ale unor probleme de uz frecvent în navigaţia estimată (cap. 9), navigaţia ortodromică (cap. 34) şi navigaţia astronomică (cap. 23).

În afara calculelor din programele menţionate mai sus, minicalculatorul TAMAYA NC-2 poate fi utilizat şi pentru rezolvarea altor formule de navigaţie, folosind funcţiile ştiinţifice sin x, cos x, tg x, $\sin^{-1}x$, $\cos^{-1} x$, $\text{tg}^{-1} x$, ln$x$, $\sqrt{}$ pe care le conţine, precum şi facilităţile pentru calcule numerice cu mărimi până la 10 digiţi. În acest caz el se foloseşte ca orice minicalculator de tipul *ştiinţific,* în modul indicat mai jos la § 4.

Procedura de calcul pentru rezolvarea unei anumite probleme, din cele nouă menţionate mai sus, este următoarea:

– se acționează pe cheia programului dorit (*GC, LOP* etc.), **funcție de natura problemei și în** continuare pe cheia *C* (Computation);

– se introduc datele problemei în succesiunea indicată în exemplele date mai jos. Introducerea fiecărei date trebuie precedată de acționarea cheii ⊙;

– formatul datelor de intrare pentru mărimi de arc (coordonate geografice, astronomice, drumuri etc.) se constituie în succesiunea cifrelor ce reprezintă grade și minute, la precizie de 0′.1, separând gradele de minute printr-un punct zecimal. De exemplu, longitudinea de 132°06′.2 se introduce în formatul 132.062, iar latitudinea de 33° – prin formatul 33.000;

– sensul N sau E se introduce prin cheia N/E. Sensul S sau W se introduce prin cheia S/W;

– formatul datelor pentru mărimi de timp se constituie în succesiunea cifrelor ce reprezintă ore, minute, secunde (câte două cifre pentru fiecare), intercalând un punct zecimal după ore. De exemplu, $8^h6^m48^s$ se introduce în formatul 08.0648.

Verificarea introducerii corecte a datelor se face prin citirea continuă a afișajului, care folosește următoarele notații:

Ł = latitudinea locului;

|| = longitudinea locului;

c = drumul navei, în programul *DR – MP, CD* și *GC*;

c = azimutul astrului, în programele *DR – MP* pentru determinarea punctului astronomic;

d = distanța (în Mm), în programele *DR – MP, CD, GC*;

d = declinația astrului, în programul *LOP;*

d = diferența $\Delta h = ha - he$, în minute arc, în programul *DR – MP* folosit pentru determinarea punctului astronomic din elementele dreptelor de înălțime;

h = mărime de timp, exprimată în ore, minute, secunde, în programul *TIME;*

A = înălțimea estimată a astrului, în programul *LOP;*

≡ = înălțimea estimată a astrului, în programul *LOP;*

H = unghiul orar al astrului, în programul *LOP.*

După introducerea datelor problemei, în modul indicat mai sus, se acționează succesiv pe cheia ⊙, până la afișarea completă a rezultatelor.

În vederea elucidării procedurii de calcul, redăm în continuare câteva exemple.

1 Calculul coordonatelor punctului de sosire. Programul DR-MP

O navă pleacă din *A* (φ_A = 32°30′.6 N; λ_A = 118°36′.2 W) în *Da* = 245°.5 (Da = 245°30′) și parcurge distanța *m* = 280.8 Mm.

Se cer coordonatele φ_B și λ_B ale punctului de sosire *B*.

Cheia	Date	Afișaj	Rezultate
DR-MP C	32.306 N/E	*L* 32.306	
⊙	118.362 S/W	||– 118.362	
⊙	245.3	*c* 245.3	
⊙	280.8	*d* 280.8	φ_B = 30°34′.2 N
⊙		*L* 30.342	λ_B = 123°36′.0 W
⊙		||– 123.360	

2 Calculul drumului și distanței loxodromice între două puncte de coordonate date. Programul CD

O navă pleacă din A ($\varphi_A = 35°22'.4$ N; $\lambda_A = 125°08'.2$ W) spre punctul B ($\varphi_B = 17°45'.2$ S; $\lambda_B = 149°30'.0$ W). Se cer drumul D și distanța loxodromică m.

Cheia	Date	Afișaj	Rezultate
CD C	35.224 N/E	L 35.224	
⊙	125.082 S/W	‖ – 125.082	
⊙	17.452 S/W	L – 17.452	
⊙	149.300 S/W	‖ – 149.300	
⊙		c 203.328	$D = 203°32'.8$
⊙		d – 3477.1	$m = 3477.1$ Mm

Programul *CD* calculează drumul și distanța loxodromică prin rezolvarea ecuațiilor cê au la bază latitudinea medie (v. cap. 9).

3 Calculul drumului inițial și al distanței ortodromice. Porgramul GC

O navă pleacă din A($\varphi_A = 37°50'.8$ N; $\lambda_A = 122°25'.5$ W) spre punctul B($\varphi_B = 34°52'.0$ N; $\lambda_B = 139°42'.0$ E). Se cer distanța ortodromică M și drumul inițial D_i.

Cheia	Date	Afișaj	Rezultate
GC C	37.508 N/E	L 37.508	
⊙	122.255 S/W	‖ – 122.255	
⊙	34.520 N/E	L 34.520	
⊙	139.420 N/E	‖ 139.420	
⊙		d 4488.8	$M = 4488.8$ Mm
⊙		c 3477.1	$D_i = 302°37'.9$

4 Calculul elementelor dreptei de înălțime. Programul LOP

Pentru calculul dreptei de înălțime se dau: latitudinea punctului estimat $\varphi_e = 30°18'.3$ N; unghiul orar al astrului ... $t = 345°23'.9$; declinația astrului ... $\delta = S\ 17°10'.1$ Să se calculeze înălțimea estimată h_e și unghiul la zenit (semicircular) Z al astrului.

Cheia	Date	Afișaj	Rezultate
CD C	345.239	H 345.239	
⊙	17.101 S/W	d – 17.101	
⊙	30.183 N/E	L 30.183	
⊙		A 40.293	$h_e = 40°29'.3$
		≡ 161.322	$Z =$ N 161°32'.2 E

5 Calculul poziției celei mai probabile a navei din elementele unei drepte de înălțime. Programul DR-MP

Se dau: punctul estimat $Z_e(\varphi_e = 33°20'.0$ N; $\lambda_e = 119°28'.6$ W), azimutul estimat la astru $A_z = 202°28'.4$ și $\Delta h = -6'.4$. Se cere poziția cea mai probabilă a navei.

Cheia	Date	Afișaj	Rezultate
DR-MP C	33.200 N/E	L 33.200	
⊙	119.286 S/W	‖ – 119.286	
⊙	202.284	c 202.284	
⊙	6.4 +/–	d – 6.4	$\varphi = 33°25'.9$ N
⊙		L 33.259	$\lambda = 119°25'.7$ W
⊙		‖ – 119.257	

Procedura pentru folosirea programelor *TIME* și *ARC* (enumerate mai sus de la 6 la 9), convertiri de măsuri din arc în timp și invers, precum și operațiuni cu mărimi de arc și timp, este extrem de simplă. Aceste programe sunt folosite, îndeosebi, la rezolvarea diferitelor probleme cu efemerida: calculul unghiului la pol al aștrilor, calculul orei culminației aștrilor ca „problemă inversă" etc. Instrucțiunile ce însoțesc calculatorul conțin explicații edificatoare în această privință.

§ 4 Minicalculatorul de navigație TAMAYA NC-77

1 Particularități. Procedura de operare

TAMAYA DIGITAL NAVIGATION COMPUTER NC-77*, al cărui panou este prezentat în figura I-5, este o formă evoluată a minicalculatorului TAMAYA NC-2; el rezolvă majoritatea problemelor de navigație loxodromică, ortodromică, astronomică, precum și ale navigației în ape cu maree și curenți, ce se impun a fi soluționate în mod frecvent pe comanda navei maritime.

Procedura de operare este considerabil simplificată. La acest calculator, în comparație cu SEAMATE-4 și TAMAYA NC-2, nu se impune urmărirea vreunei scheme de calcul, memorată sau scrisă în prealabil, ci se aplică simplu *instrucțiunile de dialog* afișate pe ecran prin anumite simboluri, care indică în fiecare stadiu al calculului data ce urmează să fie introdusă, până la obținerea rezultatului dorit.

Calculatorul TAMAYA NC-77 conține 21 programe constante de navigație, indicate prin următoarele chei:

[ALM] ... (Almanac). Calculul timpului sideral la Greenwich (GHA Aries), timpului solar adevărat la Greenwich (GHA Sun), declinației Soarelui (Dec. Sun) și ecuației timpului (Equation of Time) pentru un moment dat. Programul de efemeridă ALM asigură rezolvarea acestor probleme pe întreaga perioadă până la 31.12.1999.

---

* Apărut în anul 1977; prin simplitatea în operare pe care o oferă, precizia, (rapiditatea și multitudinea problemelor de navigație pe care le rezolvă, constituie un mijloc indispensabil pe comanda oricărei nave maritime.

P.P. ... (Proportional Parts). Calculul unghiului orar la Greenwich şi declinaţiei Lunii precum şi a planetelor pentru momentul observaţiei, înlocuind tabla *Increments and corrections* din B.N.A. Se foloseşte, de asemenea, pentru interpolarea liniilor de poziţie *loran* şi *decca;*

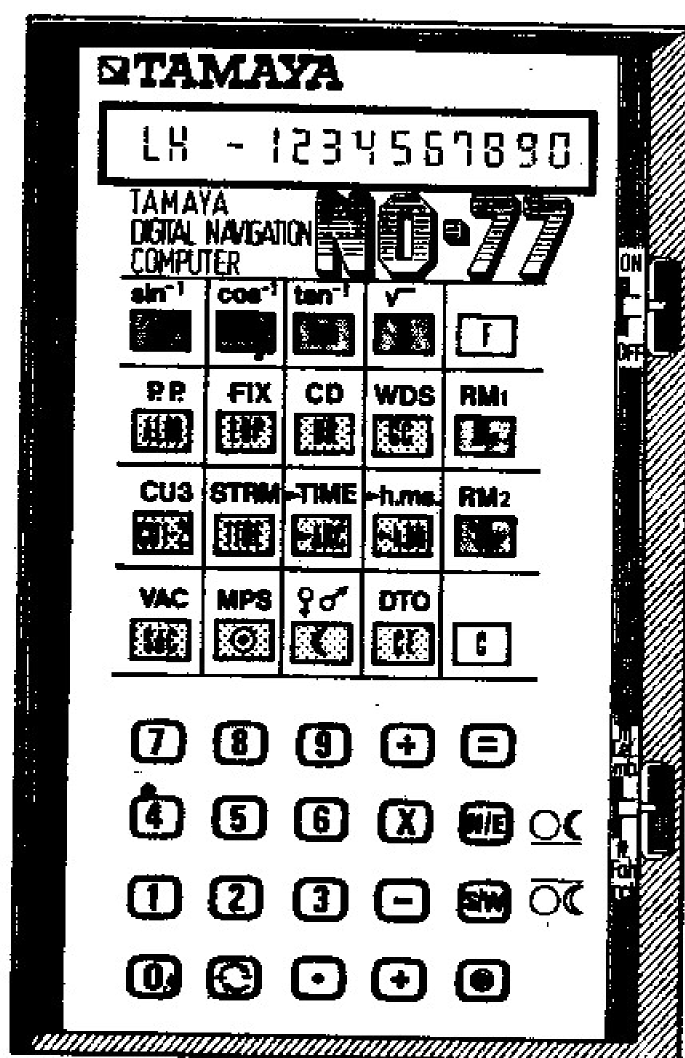


Fig. 1-5

LOP... (Line Of Position). Calculul înălţimii şi azimutului aştrilor, ca elemente ale dreptei de înălţime şi identificarea unui astru necunoscut;

FIX... (FIX by two lines o positions). Calculul latitudinii şi longitudinii cu două drepte de înălţime;

DR... (Dead Reckoning position by Mercator sailing). Calculul coordonatelor punctului de sosire din coordonatele punctului de plecare, drum şi distanţa parcursă;

CD... (Course and Distance by Mercator sailing). Calculul drumului şi distanţei de parcurs între două puncte de coordonate date;

GC... (Great Circle sailing) . Calculul distanţei ortodromice, drumului iniţial latitudinii şi longitudinii vertexului, precum şi a latitudinii punctelor intermediare ale ortodromei;

WDS... (true Wind Direction and true wind Speed). Calculul direcţiei şi vitezei vântului adevărat din direcţia şi viteza vântului aparent, drumul şi viteza navei;

CU 1 ... Calculul drumului și vitezei easupra fundului din drumul și viteza prin apă, direcția și viteza curentului. Același program poate fi folosit și la rezolvarea problemei de *punct estimat compus;*

CU 2 ... Calculul drumului și vitezei prin apă din drumul și viteza deasupra fundului, direcția și viteza curentului;

CU 3 ... Calculul drumului prin apă și a vitezei deasupra fundului din drumul deasupra fundului, viteza prin apă, direcția și viteza curentului;

TIDE ... (height of TIDE at any selected time). Calculul înălțimii mareei la un moment dat;

STRM ... (velocity of STReaM, tidal current). Calculul vitezei curentului de maree la un moment dat;

SAC ... (Standard sextant Altitude Corrections). Corecția înălțimilor observate la Soare, Lună, Lună, planete și stele la temperatura aerului de 10°C (50°F) și presiunea atmosferică de 1013.25 mb (29.92 inci);

VAC ... (Variable sextant Altitude Corerctions). Corecția înălțimilor observate la Soare, Lună, planete și stele în diferite condiții de temperatură și presiune atmosferică.

Programele SAC și VAC se folosesc cu cheile care specifică astrul observat și bordul la care s-a făcut observația:

⊙ ... observație la Soare;

☾ ... observație la Lună;

♀♂ ... observație la Venus sau Marte;

⊙☾ ... observație la bordul inferior al Soarelui sau Lunii;

⊙☾ ... observație la bordul superior al Soarelui sau Lunii;

MPS ... (Meridian Passage of Sun). Calculul latitudinii și longitudinii pentru momentul culminației Soarelui;

DTO ... (Distance To an Object). Calculul distanței la un obiect din unghiul vertical măsurat cu sextantul;

ARC ... Convertiri din timp în arc (la precizie de 0'.1) și operațiuni cu mărimi de arc;

TIME ... Convertiri din arc în timp și operațiuni cu mărimi de timp;

h.hh ... Convertiri din ore, minute și secunde în ore, 1/10 și 1/1000 oră;

h.ms ... Convertiri din ore, 1/10 oră, 1/1000 oră în ore, minute și secunde.

Ultimele două chei sunt folosite și pentru calcule de viteză, timp și distanța parcursă de navă.

În afara calculelor din programele enumerate mai sus, calculatorul TAMAYA NC-77 poate fi utilizat și pentru rezolvarea altor formule de navigație, folosind funcțiile științifice $\sin x$, $\cos x$, $\operatorname{tg} x$, $\sin^{-1} x$, $\cos^{-1} x$, $\operatorname{tg}^{-1} x$, $\sqrt{\ }$, pe care le conține, precum și facilitățile pentru calcule numerice cu mărimi până la 10 digiți. În acest caz, el se folosește ca orice minicalculator de tipul științific, acționând mai întâi pe cheia N (normal calculation key), în modul indicat la § 5.

Formatul datelor de intrare în calculator pentru mărimile de timp şi arc se constituie la fel ca la TAMAYA NC-2 (vezi § 3). Sensul N pentru latitudini şi E pentru longitudini se introduce prin cheia N/E; sensul S pentru latitudini şi W pentru longitudini – prin cheia S/W.

Formatul datei unei observaţii se constituie din şase cifre – în succesiunea: anul, prin ultimele două cifre, urmat de punctul zecimal, luna (indicată prin numărul de ordine) şi ziua. De exemplu, data de 8 martie 1978 se introduce în formatul 78.03.08.

Privind panoul calculatorului se constată că tastele pentru programele de navigaţie şi funcţiile trigonometrice au funcţii duble, una înscrisă pe tastă (sin, cos, ALM, LOP etc.) şi cea de a doua – pe bord (sin^{-1}, cos^{-1}, P.P., FIX etc...), considerată ca funcţie dublă. Funcţia dublă se introduce în calcul prin acţionare pe cheia [F] (dual function key).

La folosirea programelor SAC şi VAC pentru corectarea înălţimilor la aştri, se impune selectarea sistemului de măsură în care se exprimă condiţiile executării observaţiei:

– *m.* (metri) sau *ft.* (picioare), pentru înălţimea ochiului observatorului; acelaşi selector se foloseşte şi la programul DTO, cu aceeaşi semnificaţie;

– *Cel.* (Celsius) sau *Fah* (Fahrenheit), pentru a exprima temperatura aerului;

– m.b. (milibari) sau *inch* (inci, coloană de mercur), pentru a exprima presiunea aerului.

*Simbolurile de dialog** care indică succesiunea datelor ce trebuie introduse în calculator funcţie de programul selectat, se afişează în partea din stânga ecranului prin unu sau două semne. Unele simboluri sunt comune pentru toate programele, altele – proprii unui anumit program sau unui grup de programe. Astfel, de exemplu:

ʟ ... latitudinea locului;

|| ... longitudinea locului (comune tuturor programelor);

Ч ... anul, luna, ziua (în programul ALM);

≡ ... azimutul astrului (în programele LOP şi FIX).

Răspunsurile sunt acompaniate de aceleaşi simboluri, care le indică interpretarea. Astfel, de exemplu, afişajul de răspuns:

ʟ – 43.446

arată că latitudinea este 43°44′.6 S, ştiind că:

semnul – după ʟ (simbolul latitudinii) indică o latitudine sudică;

semnul – după || (simbolul longitudinii) arată o longitudine vestică. Lipsa unui asemenea semn indică o latitudine nordică şi respectiv o longitudine estică. Aceeaşi interpretare se dă semnului – ce urmează după ⊔ (simbolul declinaţiei) din programele ALM, LOP şi MPS, precum şi după ʟ (simbolul ecuaţiei timpului) din programele ALM şi MPS.

Procedura de operare se bazează pe urmărirea şi executarea instrucţiunilor de dialog afişate de calculator în succesiunea schemei de calcul introduse prin acţionarea cheii programului selectat, constituirea corectă a mărimilor intrate şi interpretarea corespunzătoare a simbolurilor de răspuns. Astfel, procedura de calcul pentru rezolvarea unei anumite probleme de navigaţie, pe baza programelor indicate mai sus, este următoarea:

---

* *Simbolurile de dialog* sunt redate în TAMAYA NC-77 INSTRUCTION MANUAL, însoţeşte calculatorul, pentru toate programele conţinute. În cele ce urmează sunt reproduse doar simbolurile pentru programele folosite la rezolvarea exemplelor date în prezentul paragraf.

– se acționează pe cheia programului dorit, în cazul în care acesta constituie o funcție normală (DR, GC, LOP, TIDE etc.). Dacă programul de selectat este o funcție dublă (FIX, CD, STRM etc.) se acționează mai întâi cheia F;

– se introduc datele problemei în succesiunea indicată de calculator prin simbolurile de dialog afișate, acordând atenția cuvenită constituirii formatului pentru data observației (an, lună, ziua) și a mărimilor de timp și arc;

– se citesc valorile numerice ale rezultatelor afișate, cu interpretarea corespunzătoare a acestora când exprimă mărimi de arc sau timp, precum și a simbolurilor de răspuns.

Cheia [⊙] prezintă o importanță deosebită în operarea calculatorului, având următoarele funcții:

– acționează afișarea simbolului de dialog pentru data ce urmează să fie introdusă în calculator, conform schemei de calcul a programului selectat;

– acționează derularea programului selectat după introducerea datelor de calcul;

– acționează afișarea răspunsului, după derularea programului, respectiv a răspunsurilor – când problema cere mai multe rezultate, în acest caz prin acționarea repetată a cheii până la epuizarea lor;

– cere repetarea afișării răspunsului, respectiv a răspunsurilor (în acest caz prin acționarea repeată a cheii).

Întreaga procedură de operare a calculatorului TAMAYA NC-77 este extrem de simplă pentru navigatorul ce cunoaște bazele teoretice ale problemelor de rezolvat, cu care se familiarizează cu ușurință după câteva exerciții.

În cele ce urmează, se exemplifică procedura de operare a calculatorului TAMAYA NC-77 pentru rezolvarea problemelor principale de navigație, însoțită de explicațiile necesare folosirii programelor respective. Pentru restul programelor, considerate mai simple, TAMAYA NC-77 INSTRUCTION MANUAL – care însoțește calculatorul, conține explicații edificatoare.

2 Probleme de navigație loxodromică și ortodromică

În calculul programelor DR și CD de navigație loxodromică, Pământul a fost considerat ca un elipsoid de revoluție de dimensiunile *sistemului geodezic internațional 197 2* având excentricitatea 0.08182. Programul GC, de navigație ortodromică, are la bază considerentul că Pământul este de formă sferică, fapt impus de însăși definiția ortodromei – ca arc de cerc mare ce unește după puncte de pe sfera terestră.

Simbolurile de dialog folosite în programele DR – CD și GC sunt următoarele:

L ... latitudinea;
|| ... longitudinea;
⊏ ... drumul navei (Course);
⊏| ... distanța în Mm (Distance);
L ⊔ ... latitudinea vertexului;
|| ⊔ ... longitudinea vertexului;
||′ ... longitudinea punctului intermediar (Selected Longitude);
L′ ... latitudinea punctului intermediar (Corresponding Latitude).

Programul DR. Calculul coordonatelor punctului de sosire

Exemplu. O navă pleacă din punctul A(φ_A = 43°20′.0N; λ_A = 37°12′.0W) în *Da* = 319° și parcurge distanța *m* = 510°.

Se cer coordonatele punctului de sosire B(φ_B și λ_B).

Cheia – date	Afișaj	Rezultate
DR	└ 0.	
53.200 N/E	└ 53.200	
⊙	‖ 0.	
37.120 S/W	‖ – 37.120	
⊙	⊏ 0.	
319.0	⊏ 319.0	
⊙	⊐ 0.	
510.0	⊐ 510.0	
⊙	└ 59.449	φ_B = 59°44′.9N
⊙	‖ – 47.194	λ_B = 47°19′.4W
⊙	Repetă └ și ‖ la cerere	

Programul CD. Calculul drumului și distanței loxodromice între două puncte de coordonate date.

Exemplu. O navă pleacă din A(φ_A = 23°32′ S; λ_A = 11°09′ W) spre punctul B(φ_B = 34°48′ S; λ_B = 16°14′ W). Se cere drumul *D* și distanța loxodromică *m* între cele două puncte.

Cheia – date	Afișaj	Rezultate
F CD	└ 0.	
23.320 S/W	└ – 23.320	
⊙	‖ 0.	
11.090 S/W	‖ – 11.090	
⊙	└ 0.	
34.480 S/W	└ – 34.480	
⊙	‖ 0.	
16.140 S/W	‖ – 16.140	
⊙	⊏ 201.331	D = 201°33′.1 = 201°.6
⊙	⊐ 726.8	m = 726.8 Mm
⊙	Repetă ⊏ și ⊐ la cerere	

Programul CD fiind o funcție dublă se acționează mai întâi cheia F.

Programul GC. Calculul ortodromei

Exemplu. O navă pleacă din A(φ_A = 37°50′ N; λ_A = 122°30′ W) spre punctul B(φ_B = 35°40′ N; λ_B = 140°00′ E). Se cer elementele ortodromei (distanța ortodromică *M*, drumul inițial *Di*, coordonatele vertextului φ_V și λ_V) și latitudinea punctelor intermediare Z_1, Z_2, ..., Z_s de longitudine λZ_1 = 130°W, λZ_2 = 140°W, ..., λZ_s = 160°E.

Cheia – date	Afişaj	Rezultate
GC	L 0.	
37.500 N/E	L 37.500	
⊙	‖ 0.	
12.300 S/W	‖ – 122.300	
⊙	L 0.	
35.400 N/E	L 35.400	
⊙	‖ 0.	
140.000 N/E	‖ 140.000	
⊙	d 4446,3	M = 4446.3 Mm
⊙	E 303.074	Di = 303°07′.4 ≅ 303°.1
⊙	LU 48.354	φ_v = 48°35′.4 N
⊙	‖U – 169.162	λ_v = 169°16′.2 W
⊙	‖′ 0.	
130.000 S/W	‖′ – 130.000...........	
⊙	L′ 41.166...........	φZ_1 = 41°16′.6 N
⊙	‖′ 0.	
140.000 S/W	‖′ – 140.000	
⊙	L′ 44.411...........	φZ_2 = 44°41′.1 N
⊙	‖′ 0.	
160.000 N/E	‖′ 160.000	
⊙	L′ 44.158...........	φZ_5 = 44°15′.8 N

Operaţiunea de determinare a latitudinii punctelor intermediare ale ortodromei se repetă de câte ori este necesar, în modul arătat mai sus. Funcţie de poziţia punctului de sosire faţă de cel de plecare, poziţia vertexului poate să apară în anumite situaţii în afara ortodromei.

Elementele loxodromelor AZ_1, Z_1Z_2 etc ... ce leagă punctele intermediare ale ortodromei de-a lungul cărora se navigă, drumurile şi distanţele loxodromice, se calculează succesiv prin derularea programului CD, în modul arătat mai sus.

3 Programe de navigaţie astronomică

Calculatorul TAMAYA NC-77 asigură posibilitatea rezolvării integrale a problemei de poziţie cu metoda dreptelor de înălţime prin folosirea succesivă a următoarelor programe:

– TIME, ALM, ARC, pentru calculul unghiului la pol, declinaţiei Soarelui şi ecuaţiei timpului. *Unghiul* τ şi δ pentru stele, T şi δ ale planetelor şi Lunii, în vederea calculului unghiului la pol, se obţin, în cazul observaţiilor la aceşti aştri, din efemeridă. Programul P.P. facilitează rezolvarea determinării T şi δ pentru planete şi Lună, eliminând necesitatea folosirii tablelor INCREMENTS AND CORRECTIONS din B.N.A.;

– LOP, pentru calculul înălţimii şi azimutului aştrilor observaţi. Acelaşi program, poate fi folosit şi pentru identificarea aştrilor necunoscuţi, în modul arătat mai jos;

– SAC sau VAC, după caz, pentru corectarea înălţimilor observate. În condiţii normale de temperatură şi presiune ale atmosferei din momentul observaţiei, de valori apropiate de 10°C şi

respectiv 1013.25 mb, se va folosi programul SAC. În toate celelalte situații, când condițiile atmosferice pot genera erori în *refracție* și *depresiunea orizontului*, se recomandă utilizarea programului VAC;

– FIX, pentru determinarea poziției navei din Δh = ha – he și Ay a doi aștri, eliminând rezolvarea grafică a problemei.

De asemenea, TAMAYA-77 oferă posibilitatea determinării poziției navei pentru momentul culminației Soarelui, din înălțimea meridiană, Tm și ecuația timpului, cu programul MPS.

În cele de mai jos se exemplifică procedura de operare a programelor ALM, LOP, FIX și MPS, ale căror *simboluri de dialog* sunt următoarele:

Programul ALM:

Ч ... anul, luna, ziua;
|┐ ... ora observației;
H□ ... timpul sideral la Greenwich Ts (GHA Aries);
□┤ ... declinația Soarelui $\delta\odot$ (Dec. Sun);
H ... timpul solar adevărat la Greenwich Ta (GHA Sun);
E□ ... ecuația timpului (Eqn. of Time);

Programul LOP

LH ... timpul locului t (LHA, Local Hour Angle);
□┤ ... declinația astrului δ (Dec., Declination);
L ... latitudinea;
┌┐┤ ... înălțimea estimată he (he, Computed Altitude);
≡ ... azimutul;

Programul FIX

L ... latitudinea;
|| ... longitudinea;
□┤ ... Δh = ha – he (Intercept);
≡ ... azimutul;

Programul MPS-

|┐ ... Tm la culminația Soarelui (GMT of Meridian Passage);
┌┐┤ □ ... înălțimea meridiană adevărată Ha (True Meridian Altitude);
□┤ ... declinația Soarelui (Dec. Sun);
E ... ecuația timpului (Eqn. of Time);
L ... latitudinea;
|| ...longitudinea.

Programul ALM. Calculul timpului sideral la Greenwich Ts, declinației Soarelui $\delta\odot$, a timpului solar adevărat Ta la Greenwich și a ecuației timpului Em.

Exemplu. Să se determine Ts, $\delta\odot$, Ta și Em din ziua de 7.05.1978, Tm = $13^h03^m42^s$.

Ts stă la baza calculării unghiului la pol al stelelor; în acest scop, *unghiul* τ pentru stelele observate se scoate din efemeridă. Ecuația timpului *Em* se folosește în programul MPS pentru calculul latitudinii și longitudinii din observația meridiană a Soarelui. *Ta* și $\delta\odot$ stau la baza calculului elementelor dreptei de înălțime în cazul observațiilor la Soare.

Cheia – date	Afişaj	Rezultate
ALM 78.0507 ⊙ 13.0342	0. 78.0507 0. 13.0342	
⊙ ⊙ ⊙ ⊙	H 60.566 .... 16.482 .... H 16.477 .... 0.0329	Ts = 60°56′.6 δ⊙ = N 16°48′.2 Ta = 16°47′.7 Em = + 3^m29^s
⊙	Repetă numai şi H la cerere	

Programul de efemeridă ALM dă posibilitatea calculării celor patru coordonate astronomice, arătate mai sus, până la 31.12.1999. Verificările efectuate pentru această perioadă privind precizia programului au arătat că în majoritatea cazurilor eroarea este nulă sau în limitele de ± 0′.1. Pentru coordonatele *Ta*, δ ⊙ şi *Em* pot apare sporadic abateri în limitele de ±0′.3, care se consideră admisibilie.

Programul LOP. Calculul înălţimii şi azimutului

E x e m p l u. În ziua de 7.05.1978 în punctul estimat *ZE* (φ = 44°08′.5 N; λ = 30°15′.2 E) la *Tm* = $13^h03^m42^s$ se face o observaţie la Soare. Se cere înălţimea estimată *he* şi *Az*.

Prin programul ALM, mai sus, s-a calculat TA = 16°47′.7 şi δ ⊙ = N 16°48′.2. În continuare, prin programul LOP, se determină *he* şi *Az* astfel:

Relaţia de calcul	Chei–data	Afişaj	Rezultate
Ta .... +λ = ... *ta* = ...	LOP 16.477 [+] 30.152 N/E [=] ⊙ 16.482 N/E ⊙ 44.085 N/E	H 0. H 16.477 H 30.152 H 47.029 0. 16.482 0. 44.085	
	⊙ ⊙	42.014 .... ≡ 250.357	he = 42°01′.4 Az = 250°35.7 ≈ 250°.6
	⊙	Se repetă şi ≡ la cerere	

Timpul solar adevărat la meridianul locului *ta*, ca rezultat al sumei algebrice *ta* = *Ta* + λ, poate să rezulte negativ. Calculul va fi continuat astfel, fără a fi necesară transformarea într-un *ta* pozitiv – prin adunare cu 360°.

Programul LOP. Identificarea unui astru necunoscut

Baza matematică a folosirii programului LOP pentru calculul timpului *t* al locului şi declinaţiei δ a unui astru necunoscut în vederea identificării lui este aceeaşi cu cea a utilizării tablelor ABC (v. cap. 21, § 3, p. 1).

Programul LOP calculează înălțimea estimată *he* din formula (15–7):

$$\sin he = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos P,$$

iar a azimutului, din ecuația (15–12):

$$\operatorname{ctg} Z = \operatorname{tg} \delta \cos \varphi \operatorname{cosec} P - \sin \varphi \operatorname{ctg} P.$$

Programul LOP poate fi folosit însă și pentru calculul declinației δ prin rezolvarea formulei (15–11):

$$\sin \delta = \sin \varphi \sin h + \cos \varphi \cos h \cos Z,$$

introducând pe h în loc de δ, Z (respectiv Az) în loc de P (respectiv t) și citind δ în loc de h, fapt ce se deduce din compararea formulei (15–11) cu (15–7).

De asemenea, se poate calcula P (respectiv t) rezolvând ecuația (15–16):

$$\operatorname{ctg} P = \operatorname{tg} h \cos \varphi \operatorname{cosec} Z - \sin \varphi \operatorname{ctg} Z,$$

prin introducerea datelor h și Z (respectiv AZ), pentru a substitui pe δ și P (respectiv t) din programul LOP și citind pe P (respectiv t) în loc de Z (respectiv AZ), fapt explicat de compararea formulei (15–16) cu (15–12).

Timpul t al stelei se transformă apoi în *unghi* τ folosind programul ARC prin aplicarea succesivă' a relațiilor (18–2') și (18–5):

$$\begin{array}{r} t = \\ -\lambda = \\ \hline T = \\ -Ts = \\ \hline \tau = \end{array}$$

Se intră în efemeridă cu *unghiul* τ și declinația δ, astfel calculate, la capitolul ATARS și se stabilește numele stelei observate. Cele două coordonate astronomice au valori aproximative și nu vor fi folosite în continuare pentru calculul elementelor dreptei de înălțime (v. cap. 21, § 3).

Exemplu. În ziua de 1.01.1978, în punctul estimat *Ze* (φ = 12°40'N; λ = 152°22'E) se observă înălțimea h = 62°36'.3 în azimut $AZ = Z$ = 72° la o stea necunoscută. Se cere identificarea stelei observate.

Calculul declinației δ și a timpului t al stelei cu programul LOP:

Substituiri date	Cheia	Afișaj	Citiri rezultate
	LOP	⌊H 0.	
$Az(Z)$ în loc de $t(P)$	72	⌊H 72.	
	⊙	⊏ 0.	
h în loc de δ	62.363	⊏ 62.363	
	⊙	⌊ 0.	
	12.400 N/E	⌊ 12.400	
	⊙	H 19.286	δ (în loc de h) = N19°28'.6
	⊙	≡ 332.206	t (în loc de AZ) = 332°20'.6

Se calculează apoi unghiul τ din *t* cu programul ARC:

Relația de calcul	Cheia–date	Afișaj	Rezultat
	ARC	0.	
t = 332°20′.6	332.206	332.206	
	[–]	332.206	
–λ = 152°22¢.0 E	152..220	152.220	
T = 179°58′.6	[=]	179.586	
	[–]	179.586	
– *Ts* = 34°09′.6	34. 096	34.096	
τ = 145°49′.0	[=]	145.490	τ = 145°49′.0

Se intră în B.N.A. la capitolul STARS cu τ = 145°49′.0 și δ = 19°28′.6 și se stabilește că în ianuarie 1978 cele mai apropiate coordonate de celel determinate le are steaua Arcturus (α Bootis), la care s-a făcut observația. Coordonatele stelei în momentul observației sunt τ = 146°20′.2 și δ = N 19°17′.7, care se utilizează la calculul elementelor dreptei de înălțime prin programeul LOP:

Programul FIX. Punctul navei cu două drepte de înălțime.

Exemplu. În punctul estimat *Ze* (φ = 20°23′S; λ = 51°08′E) se fac observații la doi aștri ale căror elemente ale dreptelor de înălțime sunt următoarele:

– dreapta I :*Az* = 112°.4 = 112°24′; Δ*h* = + 4′.7;
– dreapta II :*Az* = 215°.3 = 215°18′; Δ*h* = – 5′.2.

Se cer coordonatele punctului navei.

Cheia – date	Afișaj	Rezultate
F FIX	└ 0.	
20.230 S/W	└ – 20.230	
⊙	‖ 0.	
51.080 N/E	‖ 51.080	
⊙	□ 0.	
4.7	□ 4.7	
⊙	≡ 0.	
112.240	≡ 112.240	
⊙	□ 0.	
5.2 + –	□ – 5.2	
⊙	≡ 0.	
215.180	≡ 215.180	
⊙	└ – 20.209	φ = 20°20′.9 S
⊙	‖ 51.144	λ = 51°14′.4 E
⊙	Repetă └ și ‖ la cerere	

În cazul a două observații succesive, se consideră că dreapta I este translată în Ze_2 în drumul urmat de navă la distanța parcursă în intervalul de timp ce le separă; astfel, problema se rezolvă ca și în cazul observațiilor simultane, introducându-se în calculator coordonatele punctului estimat pentru momentul ultimei observații și elementelor celor două drepte de înălțime.

Azimutul, care obișnuit se folosește la precizie de 0°.1, în scopul trasării dreptei de înălțime, pentru introducere în programul FIX se exprimă la precizie de 0′.1, în formatul stabilit mărimilor de arc.

Programul MPS. Determinarea punctului navei pentru momentul culminației Soarelui.

Procedura de urmat pentru determinarea punctului navei la culminația Soarelui folosind programul MPS este următoarea:

– se calculează ora bordului pentru momentul culminației Soarelui, folosind longitudinea punctului estimat (v. cap. 19, § 4, punctul 2), cu valoare orientativă (funcție de eroarea în longitudine);

– cu câteva minute înainte de culminație, se începe măsurarea succesivă a înălțimii Soarelui, la intervale scurte de timp și se citește simultan ora cronometrului; operațiunea se continuă până când scăderea înălțimii devine evidentă. Înălțimea maximă măsurată reprezintă înălțimea meridiană instrumentală *Hi;* se stabilește totodata meridianul (nordic sau sudic) în care Soarele culminează;

– se trasează curba variației Soarelui, pe hârtie milimetrică, considerând timpul mediu Tm la Greenwich – pe axa abciselor și înălțimea – pe axa coordonatelor. Din curbă, se deduce Tm corespunzător înălțimii maxime observate, care reprezintă timpul mediu la Greenwich pentru momentul culminației Soarelui;

– se corectează înălțimea meridiană instrumentală *Hi* folosind programul SAC sau VAC, după criteriile arătate mai sus și se obține înălțimea meridiană adevărată *Ha;*

– se calculează declinația Soarelui și ecuația timpului cu programul ALM funcție de dată și Tm pentru momentul culminației, determinat în modul arătat mai sus;

– se derulează programul MPS, introducând în calculator: Tm pentru momentul culminației Soarelui, înălțimea meridiană adevărată – cu indicarea meridianului nordic (cheia N/E) sau sudic (cheia S/W) în care a fost observat astrul, declinația Soarelui, ecuația timpului – și se obțin coordonatele punctului navei.

Exemplu: În ziua de 25.10.1978 la $Tm = 21^h39^m35^s$ se observă înălțimea meridiană adevărată $Ha = 49°43'.9$; Soarele la meridianul sudic. Cu programul ALM se calculează: declinația Soarelui S 12°12′.6 și ecuația timpului $0^h15^m55^s$. Se cer coordonatele punctului navei pentru momentul culminației Soarelui.

Cheia – date	Afișaj	Rezultate
F MPS 21.3935 ⊙ 49.439 S/W ⊙ 12.126 ⊙ 0.1555	Π 0. Π 21.3935 H□ 0. H□ – 49.439 d 0. d – 12.126 E□ 0. E□ 0.1555	
⊙ ⊙	L 28.035 || – 148.525	φ = 28°03′.5 N λ = 148°52′.5 W
⊙	Repetă L și || la cerere	

Programul MPS rezolvă problema latitudinii și longitudinii locului pentru momentul culminației Soarelui pe baza următoarelor relații:

– calculează latitudinea din distanța zenitală meridiană și declinația Soarelui: $\varphi = z + \delta$ relația (22-1);

– calculează timpul solar adevărat *Ta* la Greenwich pentru momentul culminației Soarelui la meridianul locului din *Tm* (determinat în modul arătat mai sus) și ecuația timpului *Em* din relația (18–7''): $Ta = (Tm \pm 12^h) + Em$.

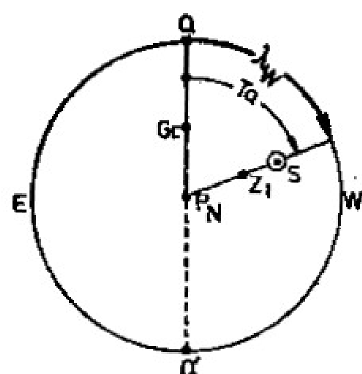


Fig. I-6 a

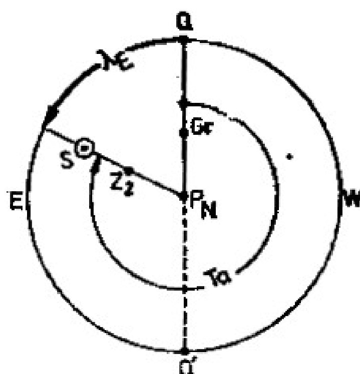


Fig. I-6 b

Se consideră Soarele în momentul culminației într-un punct Z_1 de longitudine vestică λ_w (fig. I-6 a) și respectiv în punctul Z_2 de longitudine estică λ_E (fig. I-6 b). Figura I-6 arată că relațiile pentru calculul longitudinii din *Ta* la culminația Soarelui sunt următoarele:

$$\lambda_w = Ta \text{ și } \lambda_E = 360° - Ta$$

4 Probleme de navigație în ape cu maree și curenți

În cele ce urmează se exemplifică procedura de operare a programelor TIDE STRM și CU 3*, ale căror simboluri de dialog sunt următoarele:

Programul TIDE:

… ora apei joase/înalte *(Time of Low/High Tide);*
… înălțimea apei joase/înalte *(Height of Low/High Tide);*
… momentul de calcul considerat *(Selected Time);*
… înălțimea corespunzătoare a apaei *(corresponding Height of Tide);*

Programul STRM:

… ora apei staționare *(Time of Slack Water);*
… ora vitezei maxime a curentului *(Time of Maximum Rate);*
… momentul de calcul considerat *(Selected Time);*
… viteza corespunzătoare a curentului *(Corresponding Velocity);*

Programul CU 3:

… drumul deasupra fundului *(Course to Make Good);*
… viteza prin apă *(Speed thru Water);*
… direcția curentului *(Set Toward);*

* Procedura de operare a celorlalte programe de navigație în ape cu curenți, CU1 și CU2 este similară, fiind exemplificată în instrucțiunile de exploatare a calculatorului.

d … viteza curentului *(Drift)*;
⊏ … drumul prin apă *(Course t9o Steer)*;
d … viteza deasupra fundului *(Speed Made Good)*.

Programul TIDE. Calculul înălțimii mareei la un moment dat.

Exemplu. La Seattle, în ziua de 1.12.1977, din documentația folosită la bord se stabilesc următoarele:

– ora *apei joase* 1^h45^m, înălțimea *apei joase* 0.6 picioare;
– ora *apei înalte* 9^h06^m, înălțimea *apei înalte* 11.9 picioare.

Se cere înălțimea mareei la ora 7^h35^m.

Cheia – date	Afișaj	Rezultate
TIDE	П 0.	
1.45	П 1.45	
⊙	d 0.	
0.6	d 0.6	
⊙	П 0.	
9.06	П 9.06	
⊙	d 0.	
11.9	d 11.9	
⊙	П' 0.	
7.35	П' 7.35	
⊙ :	d' 10.8	La ora 07.35, înălțimea mareei 10.8 picioare

Dialogul se poate continua, introducând noi momente pentru calculul înălțimii mareei.

Programul STRM. Calculul vitezei curentului de maree la un moment dat.

Exemplu. La intrarea în Golful San Francisco, în ziua de 16.08.1977, din documentația curenților de maree de la bord se stabilesc:

– ora apei staționare 1^h42^m;
– ora vitezei maxime a curentului de maree 4^h43^m;
– direcția curentului maxim 245°, viteza 4.6 Nd.

Se cere viteza curentului de maree la ora 3^h30^m.

Cheia – date	Afișaj	Rezultate
F STRM	П 0.	
1.42	П 1.42	
⊙	П 0.	
4.43	П 4.43	
⊙	d 0.	
4.6	d 4.6	
⊙	П' 0.	
3.30	П' 3.30	
⊙ :	d' 3.7	La ora 3^h30^m, viteza curentului de maree 3.7 Nd.

Dialogul poate continua, introducând noi momente pentru calculul vitezei curentului de maree.

Programul CU 3. Calculul drumului prin apă şi al vitezei deasupra fundului.

E x e m p l u. Se dă:

– drumul deasupra fundului $Df = 215°.5 = 215°30'.0$;

– viteza prin apă $V_1 = 9$ Nd;

– direcţia curentului = 180°, viteza = 3Nd.

Se cere drumul prin apă *Da* şi viteza deasupra fundului *V*.

Cheia – date	Afişaj	Rezultate
F CU 3	⊏ 0.	
215.300	⊏ 215.300	
⊙	⊡ 0.	
9.	⊡ – 9.	
⊙	⊏ 0.	
180.000	⊏ – 180.000	
⊙	⊡ 0.	
3	⊡ 3.	
⊙	226.397	Da = 226°39'.7 ≈ 226°.7
⊙	11.3	V = 11.3 Nd.
⊙	Repetă ⊏ şi ⊡ la cerere	

§5 Utilizarea minicalculatorului de tipul ştiinţific

Minicalculatorul de tipul *ştiinţific (scientific calculator)* constituie în prezent un ajutor de mare valoare pe comanda navei moderne, cu care se poate rezolva – total sau parţial, funcţie de facilităţile pe care le oferă – orice problemă de navigaţie. Ele vin să substituie folosirea tablelor logaritmice şi în anumite situaţii chiar a celor nautice, realizând înaltă precizie, comoditate şi, înainte de toate, rapiditate, performanţe ce concură la creşterea siguranţei navigaţiei. Navigatorul este scutit de efortul intelectual al calculului logaritmic, anevoios în anumite condiţii de lucru de pe comanda navei, iar rapiditatea rezolvării problemelor îi economiseşte un timp preţios pe care îl poate folosi la executarea mai eficientă a veghei de navigaţie, factor de importanţă primordială la bordul navei moderne cu viteză mare, în situaţia traficului actual.

Aceste minicalculatoare, deşi de fabricaţii diferite, tind spre tipizare privind modul de prezentare (simboluri folosite, chei de comandă şi răspuns etc), procedura de operare, cât şi performanţele de calcul: calcule numerice, puteri, extrageri de rădăcini, logaritmi zecimali, logaritmi naturali, antilogaritmi, funcţii trigonometrice şi inversul acestora, funcţii exponenţiale etc. Fiecare minicalculator este însoţit de instrucţiuni explicite, cu exemple rezolvate, privind procedura de calcul de urmat, cu care – după câteva exerciţii, navigatorul se va familiariza foarte uşor.

În cele ce urmează, vom prezenta procedura de calcul pentru rezolvarea unor probleme de uz frecvent în navigație, în scop de exemplificare, cu minicalculatorul CASIO fx-105, al cărui panou este redat în figura I-7.

Exemplul 1 (datele problemei de la cap. 23, § 7). Punctul estimat de latitudine $\varphi_e = 43°33'.5$ N.

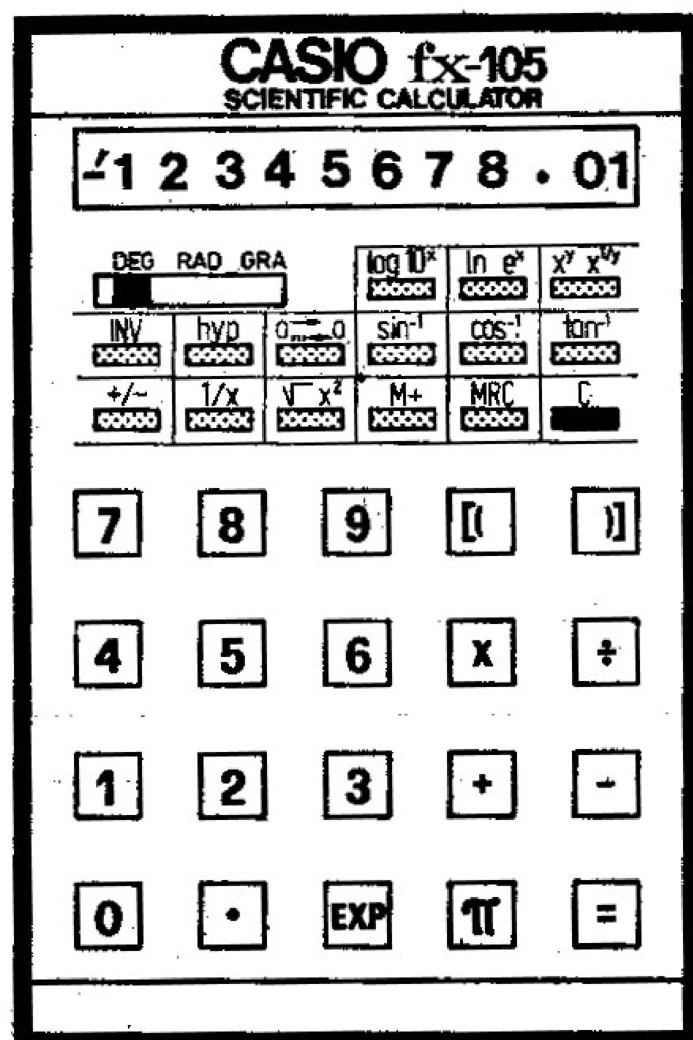


Fig. I-7

Să se calculeze înălțimea estimată h_e și unghiul la zenit Z cu minicalculatorul CASIO fx-105.

Pentru efectuarea calculului, mărimile unghiulare se transcriu la precizie de secundă arc:

$\varphi_e = 43°33'30''$N
$\delta = $ S $16°53'48''$
$P_W = 29°34'18''$

Calculul înălțimii estimate h_e (formula 15-7)
$\sin h_e = \sin \varphi_e \sin \delta + \cos \varphi_e \cos \delta \cos P$

Formatul datelor reprezentând mărimile unghiulare este constituit din numărul de grade separat prin semnul de punct zecimal de cel de minute și secunde de arc. De exemplu, $\varphi e = 43°33'30''$ se introduce în calculator în formatul 43-3330

Nr. operației	Date	Afișaj
1	43.3330 °′″ sin	0.6890928
2	X	0.6890928
3	16.5348 °′″ + / –sin	–0.2906456
4	= M +	–0.2002824
5	43.3330 °′″ cos	0.7246732
6	X	0.7246732
7	16.5348 °′″ + / –cos	0.9568305
8	X	0.6933894
9	29.3410 °′″	0.8697391
10	= M +	0.6030678
11	MRC	0.4027854
12	inv. sin	23.752423
13	–23 × 60 =	45.14538

$h_e = 23°45'.1$

Calculul unghiului la zenit cuadrantal (formula 15-22)

$\sin Z = \cos\delta \sin P \sec h_e$

Nr. operației	Date	Afișaj
1	16.5348 °′″ + / –cos	0.9568305
2	X	0.9568305
3	29.3410 °′″ sin	0.4935119
4	X	0.4722072
5	23.4506 °′″ cos	1.0925521
6	=	0.515911
7	inv. sin	31.058367

Z = SW 31°.3

Exemplul 2 (datele problemei de la cap. 34, § 2 punctul 5). O navă pleacă din *A* ($\varphi_A = 37°50'$ N; $\lambda_A = 122°30'$ W) spre punctul $B(\varphi_B = 35°40'$ N; $\lambda_B = 140°00'$ E). Diferența de longitudine $\Delta\lambda = \lambda_B - \lambda_A = 97°30'$ W. Se cere să se determine distanța ortodromică *M* și drumul inițial D_i cu calculatorul CASIO fx – 105.

Calculul distanței ortodromice M (formula 34-2)

$\cos M = \sin\varphi_A \sin\varphi_B + \cos\varphi_A \cos\varphi_B \cos\Delta\lambda$

Nr. operației	Date	Afișaj
1	37.50 °′″ sin	0.6133666
2	X	0.6133666
3	35.48 °′″ sin	0.5830687
4	= M +	0.3576348
5	37.50 °′″ cos	0.7897984
6	X	0.7897984
7	35.40 °′″ cos	0.8124229
8	X	0.6416503
9	97.30 °′″ + / – cos	–0.1305262
10	= M +	–0.0837521
11	MRC	0.2738827
12	inv. cos	74.104558
13	X 60	4446.2734

M = 4446.3 Mm

Calculul drumului inițial D_i (formula 34-3)

$tcgD_i = tg\ \varphi_B \cos \varphi_A\ cosec\ \Delta\lambda - \sin \varphi_A\ ctg\ \Delta\lambda$

Nr. operației	Date	Afișaj
1	35.40 °′″ tan	0.7176811
2	X	0.7176911
3	37.50 °′″ cos	0.7897984
4	X -	0.5668312
5	97.30 °′″ + / –sin 1/x	–1.0086289
6	= M +	–0.5717224
7	37.50 °′″ cos	0.6133666
8	X	0.6133666
9	97.30 °′″ + / – tan 1/x	0.1316524
10	+ / –M +	–0.0807511
11	MRC	–0.6524735
12	1/x inv. tan	–56.876615
13	+ 5623 × 60	–52.5969

Z = N 56°52′.6 W = N 56°.9 W

ANEXA II A

1973 NOVEMBER 9, 10, 11 (FRI., SAT., SUN.)

G.M.T. d	h	SUN G.H.A. ° ′	SUN Dec. ° ′	MOON G.H.A. ° ′	v ′	MOON Dec. ° ′	d ′	H.P. ′
9	00	184 02·8	S 16 45·4	26 35·5	9·2	N 14 00·7	11·7	58·9
	01	199 02·8	46·1	41 03·7	9·1	14 12·4	11·7	59·0
	02	214 02·7	46·9	55 31·8	9·1	14 24·1	11·6	59·0
	03	229 02·7 ··	47·6	69 59·9	8·9	14 35·7	11·6	59·0
	04	244 02·6	48·3	84 27·8	8·8	14 47·3	11·5	59·1
	05	259 02·6	49·0	98 55·6	8·8	14 58·8	11·4	59·1
	06	274 02·5	S 16 49·7	113 23·4	8·6	N 15 10·2	11·3	59·1
	07	289 02·5	50·4	127 51·0	8·6	15 21·5	11·3	59·2
	08	304 02·4	51·1	142 18·5	8·5	15 32·8	11·1	59·2
F	09	319 02·4 ··	51·9	156 46·0	8·3	15 43·9	11·1	59·2
R	10	334 02·3	52·6	171 13·3	8·2	15 55·0	11·0	59·3
I	11	349 02·3	53·3	185 40·5	8·2	16 06·0	10·9	59·3
D	12	4 02·2	S 16 54·0	200 07·7	8·0	N 16 16·9	10·8	59·3
A	13	19 02·2	54·7	214 34·7	7·9	16 27·6	10·7	59·3
Y	14	34 02·1	55·4	229 01·6	7·8	16 38·5	10·7	59·4
	15	49 02·1 ··	56·1	243 28·4	7·7	16 49·2	10·5	59·4
	16	64 02·0	56·9	257 55·1	7·6	16 59·7	10·5	59·4
	17	79 02·0	57·6	272 21·7	7·6	17 10·2	10·4	59·5
	18	94 01·9	S 16 58·3	286 48·3	7·4	N 17 20·6	10·2	59·5
	19	109 01·9	59·0	301 14·7	7·3	17 30·8	10·2	59·5
	20	124 01·8	16 59·7	315 41·0	7·2	17 41·0	10·1	59·5
	21	139 01·7	17 00·4	330 07·2	7·1	17 51·1	10·0	59·6
	22	154 01·7	01·1	344 33·3	7·0	18 01·1	9·8	59·6
	23	169 01·6	01·8	358 59·3	6·9	18 10·9	9·8	59·6
10	00	184 01·6	S 17 02·5	13 25·2	6·7	N 18 20·7	9·6	59·7
	01	199 01·5	03·2	27 50·9	6·7	18 30·3	9·6	59·7
	02	214 01·5	03·9	42 16·6	6·6	18 39·9	9·4	59·7
	03	229 01·4	04·6	56 42·2	6·5	18 49·3	9·3	59·7
	04	244 01·3	05·3	71 07·7	6·4	18 58·6	9·2	59·8
	05	259 01·3	06·0	85 33·1	6·3	19 07·8	9·1	59·8
	06	274 01·2	S 17 06·8	99 58·4	6·2	N 19 16·9	9·0	59·8
	07	289 01·2	07·5	114 23·6	6·1	19 25·9	8·8	59·8
	08	304 01·1	08·2	128 48·7	6·0	19 34·7	8·7	59·8
S	09	319 01·0 ··	08·9	143 13·7	5·9	19 43·4	8·6	59·9
A	10	334 01·0	09·6	157 38·6	5·8	19 52·0	8·5	59·9
T	11	349 00·9	10·3	172 03·4	5·7	20 00·5	8·4	59·9
U	12	4 00·9	S 17 11·0	186 28·1	5·6	N 20 08·9	8·2	59·9
R	13	19 00·8	11·7	200 52·7	5·5	20 17·1	8·1	60·0
D	14	34 00·7	12·4	215 17·2	5·5	20 25·2	7·9	60·0
A	15	49 00·7 ··	13·1	229 41·7	5·3	20 33·1	7·8	60·0
Y	16	64 00·6	13·8	244 06·6	5·2	20 40·9	7·7	60·0
	17	79 00·6	14·5	258 30·2	5·2	20 48·6	7·6	60·0
	18	94 00·5	S 17 15·2	272 54·4	5·1	N 20 52·6	7·4	60·1
	19	109 00·4	15·9	287 18·5	4·9	21 03·6	7·3	60·1
	20	124 00·4	16·6	301 42·4	4·9	21 10·9	7·1	60·1
	21	139 00·3 ··	17·3	316 06·3	4·8	21 18·0	7·0	60·1
	22	154 00·2	17·9	330 30·1	4·8	21 25·0	6·8	60·1
	23	169 00·2	18·6	344 53·9	4·6	21 31·8	6·7	60·2
11	00	184 00·1	S 17 19·3	359 17·5	4·5	N 21 38·5	6·6	60·2
	01	199 00·0	20·0	13 41·0	4·5	21 45·1	6·4	60·2
	02	214 00·0	20·7	28 04·5	4·4	21 51·5	6·2	60·2
	03	228 59·9 ··	21·4	42 27·9	4·4	21 57·7	6·1	60·2
	04	243 59·8	22·1	56 51·3	4·2	22 03·8	6·0	60·2
	05	258 59·8	22·8	71 14·5	4·2	22 09·8	5·8	60·3
	06	273 59·7	S 17 23·5	85 37·7	4·1	N 22 15·6	5·6	60·3
S	07	288 59·6	24·2	100 00·8	4·0	22 21·2	5·5	60·3
U	08	303 59·6	24·9	114 23·8	4·0	22 26·7	5·3	60·3
N	09	318 59·5 ··	25·6	128 46·8	3·9	22 32·0	5·2	60·3
D	10	333 59·4	26·3	143 09·7	3·8	22 37·2	5·0	60·3
A	11	348 59·4	26·9	157 32·5	3·8	22 42·2	4·8	60·3
Y	12	3 59·3	S 17 27·6	171 55·3	3·7	N 22 47·0	4·7	60·3
	13	18 59·2	28·3	186 18·0	3·7	22 51·7	4·5	60·4
	14	33 59·1	29·0	200 40·7	3·6	22 56·2	4·4	60·4
	15	48 59·1 ·	29·7	215 03·3	3·5	23 00·6	4·2	60·4
	16	63 59·0	30·4	229 25·8	3·5	23 04·8	4·0	60·4
	17	78 58·9	31·1	243 48·3	3·4	23 08·8	3·9	60·4
	18	93 58·9	S 17 31·8	258 10·7	3·4	N 23 12·7	3·6	60·4
	19	108 58·8	32·4	272 33·1	3·4	23 16·3	3·6	60·4
	20	123 58·7	33·1	286 55·5	3·3	23 19·9	3·3	60·4
	21	138 58·6 ··	33·8	301 17·8	3·2	23 23·2	3·2	60·4
	22	153 58·6	34·5	315 40·0	3·2	23 26·4	3·0	60·4
	23	168 58·5 ·	35·2	330 02·0	3·2	23 29·4	2·8	60·5
		S.D. 16·2	d 0·7	S.D. 16·2		16·3		16·4

Lat. °	Twilight Naut. h m	Twilight Civil h m	Sunrise h m	Moonrise 9 h m	Moonrise 10 h m	Moonrise 11 h m	Moonrise 12 h m
N 72	06 40	08 10	10 00	12 27	□	□	□
N 70	06 32	07 51	09 18	13 08	11 48	□	□
68	06 26	07 36	08 49	13 36	13 16	□	□
66	06 20	07 24	08 28	13 57	13 55	13 55	14 15
64	06 15	07 14	08 11	14 15	14 22	14 41	15 24
62	06 10	07 05	07 57	14 29	14 44	15 11	16 00
60	06 06	06 57	07 45	14 41	15 01	15 33	16 26
N 58	06 03	06 50	07 35	14 52	15 16	15 52	16 48
56	05 59	06 44	07 26	15 01	15 28	16 07	17 03
54	05 56	06 39	07 18	15 09	15 39	16 21	17 17
52	05 53	06 34	07 11	15 17	15 49	16 33	17 30
50	05 50	06 29	07 04	15 23	15 58	16 43	17 41
45	05 44	06 19	06 50	15 38	16 16	17 05	18 04
N 40	05 38	06 10	06 39	15 49	16 32	17 23	18 23
35	05 32	06 03	06 29	16 00	16 45	17 37	18 38
30	05 27	05 56	06 21	16 09	16 56	17 50	18 52
20	05 16	05 43	06 06	16 24	17 15	18 13	19 15
N 10	05 06	05 31	05 53	16 38	17 33	18 32	19 35
0	04 54	05 19	05 40	16 51	17 49	18 50	19 54
S 10	04 40	05 06	05 28	17 04	18 05	19 06	20 12
20	04 24	04 51	05 15	17 18	18 22	19 28	20 32
30	04 02	04 33	04 59	17 34	18 42	19 50	20 55
35	03 49	04 22	04 50	17 43	18 54	20 04	21 09
40	03 33	04 10	04 39	17 54	19 07	20 19	21 25
45	03 12	03 54	04 27	18 07	19 24	20 37	21 43
S 50	02 45	03 34	04 12	18 22	19 44	21 00	22 07
52	02 31	03 25	04 05	18 30	19 53	21 11	22 18
54	02 14	03 14	03 57	18 38	20 04	21 24	22 31
56	01 54	03 02	03 49	18 47	20 16	21 38	22 45
58	01 27	02 47	03 39	18 58	20 30	21 55	23 02
S 60	02 44	02 29	03 27	19 10	20 47	22 15	23 23

Lat. °	Sunset h m	Twilight Civil h m	Twilight Naut. h m	Moonset 9 h m	Moonset 10 h m	Moonset 11 h m	Moonset 12 h m
N 72	13 26	15 17	16 46	08 25	□	□	□
N 70	14 09	15 36	16 54	07 46	11 03	□	□
68	14 38	15 51	17 01	07 19	09 37	□	□
66	14 59	16 03	17 07	06 59	08 59	11 05	12 58
64	15 17	16 13	17 12	06 43	08 32	10 20	11 49
62	15 31	16 22	17 17	06 29	08 12	09 51	11 13
60	15 43	16 30	17 21	06 18	07 55	09 28	10 47
N 58	15 53	16 37	17 24	06 09	07 41	09 10	10 27
56	16 02	16 43	17 28	06 00	07 29	08 55	10 10
54	16 10	16 48	17 31	05 53	07 18	08 42	09 56
52	16 17	16 53	17 34	05 46	07 09	08 30	09 43
50	16 23	16 58	17 37	05 40	07 01	08 20	09 32
45	16 37	17 08	17 43	05 27	06 43	07 59	09 09
N 40	16 49	17 17	17 49	05 16	06 29	07 42	08 51
35	16 58	17 25	17 55	05 07	06 17	07 27	08 53
30	17 07	17 32	18 01	04 59	06 06	07 15	08 22
20	17 22	17 45	18 11	04 45	05 48	06 53	07 59
N 10	17 35	17 57	18 22	04 33	05 32	06 35	07 39
0	17 47	18 09	18 34	04 22	05 18	06 17	07 20
S 10	18 00	18 22	18 48	04 11	05 03	06 00	07 02
20	18 14	18 37	19 05	03 59	04 48	05 42	06 43
30	18 29	18 55	19 26	03 46	04 30	05 21	06 19
35	18 39	19 06	19 40	03 38	04 20	05 08	06 05
40	18 49	19 19	19 56	03 29	04 08	04 54	05 49
45	19 02	19 35	20 17	03 19	03 54	04 37	05 31
S 50	19 17	19 55	20 45	03 07	03 37	04 16	05 08
52	19 24	20 04	20 59	03 01	03 29	04 06	04 56
54	19 32	20 16	21 16	02 55	03 20	03 55	04 44
56	19 41	20 28	21 37	02 48	03 11	03 43	04 29
58	19 51	20 43	22 05	02 40	02 59	03 28	04 13
S 60	20 03	21 01	22 52	02 31	02 47	03 11	03 52

Day	SUN Eqn. of Time 00h m s	SUN Eqn. of Time 12h m s	SUN Mer. Pass. h m	MOON Mer. Pass. Upper h m	MOON Mer. Pass. Lower h m	MOON Age d	MOON Phase
9	16 11	16 09	11 44	23 04	10 36	14	
10	16 06	16 04	11 44	24 03	11 23	15	
11	16 01	15 57	11 44	00 03	12 34	16	

ANEXA II B

EXTRAS DIN „BROWN'S NAUTICAL ALMANAC"
1973 NOVEMBER 9, 10, 11 (FRI., SAT., SUN.)

	G.M.T.	ARIES	VENUS −4·0		MARS −1·9		JUPITER −1·8		SATURN −0·0		STARS		
	d h	G.H.A.	G.H.A.	Dec.	G.H.A.	Dec.	G.H.A.	Dec.	G.H.A.	Dec.	Name	S.H.A.	Dec.
		° ′	° ′	° ′	° ′	° ′	° ′	° ′	° ′	° ′		° ′	° ′
	9 00	48 01·5	134 07·5	S 26 47·5	22 24·7	N 9 39·8	100 29·8	S 19 45·0	313 24·2	N 22 17·0	Acamar	315 40·4	S 40 24·4
	01	63 04·0	149 07·1	47·4	37 27·8	39·7	115 31·9	44·9	328 26·8	17·0	Achernar	355 48·1	S 57 22·1
	02	78 06·4	164 06·7	.. 47·4	52 30·8	39·7	130 34·1	44·9	343 29·4	17·0	Acrux	173 43·2	S 62 57·1
	03	95 08·9	179 06·3	47·3	67 33·9	.. 39·6	145 36·2	.. 44·8	358 32·0	.. 17·0	Adhara	255 35·6	S 28 56·0
	04	108 11·3	194 05·9	47·3	82 36·9	39·6	160 38·4	44·7	13 34·5	17·0	Aldebaran	291 23·1	N 16 27·6
	05	123 13·8	209 05·4	47·3	97 40·0	39·5	175 40·5	44·6	28 37·1	17·0			
	06	138 16·3	224 05·0	S 26 47·2	112 43·0	N 9 39·5	190 42·6	S 19 44·6	43 39·7	N 22 17·0	Alioth	166 47·0	N 56 05·9
	07	153 18·7	139 04·6	47·2	127 46·0	39·4	205 44·8	44·5	58 42·3	17·0	Alkaid	153 22·6	N 49 26·5
	08	168 21·2	154 04·2	47·1	142 49·1	39·3	220 46·9	44·4	73 44·8	17·0	Al na'ir	28 20·7	S 47 05·4
F	09	183 23·7	169 03·8	.. 47·1	157 52·1	.. 39·3	235 49·1	.. 44·3	88 47·4	.. 17·0	Alnilam	276 16·2	S 1 12·4
R	10	198 26·1	184 03·4	47·0	172 55·2	39·2	250 51·2	44·2	103 50·0	17·0	Alphard	218 25·2	S 8 32·4
I	11	213 28·6	299 02·9	46·9	187 56·2	39·2	265 53·4	44·2	118 52·6	17·0			
D	12	228 31·1	314 02·5	S 26 46·9	203 01·2	N 9 39·1	280 55·5	S 19 44·1	133 55·1	N 22 17·0	Alphecca	126 36·5	N 26 48·1
A	13	243 33·5	329 02·1	46·8	218 04·3	39·1	295 57·6	44·0	148 57·7	17·0	Alpheratz	358 14·0	N 28 57·1
Y	14	258 36·0	344 01·7	46·8	233 07·3	39·0	310 59·8	43·9	164 00·3	17·0	Altair	62 37·3	N 8 48·1
	15	273 38·5	359 01·3	.. 46·7	248 10·3	.. 39·0	326 01·9	.. 43·9	179 02·9	.. 17·0	Ankaa	353 44·5	S 42 26·9
	16	288 40·9	14 00·9	46·7	263 13·4	38·9	341 04·1	43·8	194 05·5	17·0	Antares	113 03·1	S 26 22·5
	17	303 43·4	29 00·5	46·6	278 16·4	38·9	356 06·2	43·7	209 08·0	17·0			
	18	318 45·8	44 00·1	S 26 46·5	293 19·4	N 9 38·8	11 08·3	S 19 43·6	224 10·6	N 22 17·0	Arcturus	146 23·1	N 19 19·0
	19	333 48·3	58 59·7	46·5	308 22·4	38·8	26 10·5	43·5	239 13·2	17·0	Atria	108 32·1	S 68 59·0
	20	348 50·8	73 59·2	46·4	323 25·5	38·7	41 12·6	43·5	254 15·8	17·0	Avior	234 30·1	S 59 25·2
	21	3 53·2	88 58·8	.. 46·3	338 28·5	.. 38·7	56 14·8	.. 43·4	269 18·3	.. 17·1	Bellatrix	279 03·6	N 6 19·7
	22	18 55·7	103 58·4	46·3	353 31·5	38·6	71 16·9	43·3	284 20·9	17·1	Betelgeuse	271 33·2	N 7 24·3
	23	33 58·2	118 58·0	46·2	8 34·5	38·6	86 19·0	43·2	299 23·5	17·1			
	10 00	49 00·6	133 57·6	S 26 46·1	23 37·6	N 9 38·5	101 21·2	S 19 43·1	314 26·1	N 22 17·1	Canopus	264 08·9	S 52 40·6
	01	64 03·1	148 57·2	46·1	38 40·6	38·5	116 23·3	43·1	329 28·7	17·1	Capella	281 17·9	N 45 58·4
	02	79 05·6	163 56·8	46·0	53 43·6	38·4	131 25·4	43·0	344 31·2	17·1	Deneb	49 51·8	N 45 11·5
	03	94 08·0	178 56·4	.. 45·9	68 46·6	.. 38·4	146 27·6	.. 42·9	359 33·8	.. 17·1	Denebola	183 04·1	N 14 43·0
	04	109 10·5	193 56·0	45·9	83 49·6	38·4	161 29·7	42·8	14 36·4	17·1	Diphda	349 25·3	S 18 07·7
	05	124 13·0	208 55·6	45·8	98 52·6	38·3	176 31·8	42·8	29 39·0	17·1			
	06	139 15·4	223 55·2	S 26 45·7	113 55·7	N 9 38·3	191 34·0	S 19 42·7	44 41·6	N 22 17·1	Dubhe	194 28·1	N 61 53·2
	07	154 17·9	238 54·8	45·6	128 58·7	38·2	206 36·1	42·6	59 44·1	17·1	Elnath	278 49·8	N 28 35·2
S	08	169 20·3	253 54·4	45·6	144 01·7	38·2	221 38·3	42·5	74 46·7	17·1	Eltanin	91 00·4	N 51 29·7
A	09	184 22·8	268 54·0	.. 45·5	159 04·7	.. 38·1	236 40·4	.. 42·4	89 49·3	.. 17·1	Enif	34 16·2	N 9 45·5
T	10	199 25·3	283 53·6	45·4	174 07·7	38·1	251 42·5	42·4	104 51·9	17·1	Fomalhaut	15 56·5	S 29 45·6
U	11	214 27·7	298 53·2	45·3	189 10·7	38·0	266 44·7	42·3	119 54·5	17·1			
R	12	229 30·2	313 52·8	S 26 45·2	204 13·7	N 9 38·0	281 46·8	S 19 42·2	134 57·0	N 22 17·1	Gacrux	172 34·6	S 56 57·9
D	13	244 32·7	328 52·4	45·2	219 16·7	38·0	296 48·9	42·1	149 59·6	17·1	Gienah	176 23·1	S 17 23·8
A	14	259 35·1	343 52·0	45·1	234 19·7	37·9	311 51·1	42·0	165 02·2	17·1	Hadar	149 30·8	S 60 14·8
Y	15	274 37·6	358 51·6	.. 45·0	249 22·7	.. 37·9	326 53·2	.. 42·0	180 04·8	.. 17·1	Hamal	328 34·0	N 23 20·6
	16	289 40·1	13 51·2	44·9	264 25·7	37·8	341 55·3	41·9	195 07·4	17·1	Kaus Aust.	84 23·4	S 34 24·0
	17	304 42·5	28 50·8	44·8	279 28·7	37·8	356 57·5	41·8	210 10·0	17·1			
	18	319 45·0	43 50·4	S 26 44·7	294 31·7	N 9 37·7	11 59·6	S 19 41·7	225 12·5	N 22 17·1	Kochab	137 19·8	N 74 15·6
	19	334 47·4	58 50·0	44·7	309 34·7	37·7	27 01·7	41·6	240 15·1	17·1	Markab	14 07·8	N 15 04·1
	20	349 49·9	73 49·6	44·6	324 37·7	37·7	42 03·9	41·6	255 17·7	17·1	Menkar	314 45·8	N 3 59·5
	21	4 52·4	88 49·3	.. 44·5	339 40·7	.. 37·6	57 06·0	.. 41·5	270 20·3	.. 17·1	Menkent	149 43·1	S 36 14·5
	22	19 54·8	103 48·9	44·4	354 43·7	37·6	72 08·1	41·4	285 22·9	17·1	Miaplacidus	2..1 46·1	S 69 38·3
	23	34 57·3	118 48·5	44·3	9 46·7	37·5	87 10·3	41·3	300 25·5	17·1			
	11 00	49 59·8	133 48·1	S 26 44·2	24 49·7	N 9 37·5	102 12·4	S 19 41·2	315 28·0	N 22 17·1	Mirfak	309 22·5	N 49 46·3
	01	65 02·2	148 47·7	44·1	39 52·7	37·5	117 14·5	41·2	330 30·6	17·2	Nunki	76 35·3	S 26 19·8
	02	80 04·7	163 47·3	44·0	54 55·7	37·4	132 16·6	41·1	345 33·2	17·2	Peacock	54 05·9	S 56 49·4
	03	95 07·2	178 46·9	.. 43·9	69 58·6	.. 37·4	147 18·8	.. 41·0	0 35·8	.. 17·2	Pollux	244 03·8	N 28 05·3
	04	110 09·6	193 46·5	43·8	85 01·6	37·4	162 20·9	40·9	15 38·4	17·2	Procyon	245 30·6	N 5 17·6
	05	125 12·1	208 46·2	43·7	100 04·6	37·3	177 23·0	40·8	30 41·0	17·2			
	06	140 14·6	223 45·8	S 26 43·6	115 07·6	N 9 37·3	192 25·2	S 19 40·8	45 43·5	N 22 17·2	Rasalhague	96 34·3	N 12 34·6
S	07	155 17·0	238 45·4	43·5	130 10·6	37·2	207 27·3	40·7	60 46·1	17·2	Regulus	208 15·1	N 12 05·7
U	08	170 19·5	253 45·0	43·4	145 13·6	37·2	222 29·4	40·6	75 48·7	17·2	Rigel	281 40·3	S 8 13·7
N	09	185 21·9	268 44·6	.. 43·3	160 16·5	.. 37·2	237 31·6	.. 40·5	90 51·3	.. 17·2	Rigil Kent.	140 33·0	S 60 43·6
D	10	200 24·4	283 44·3	43·2	175 19·5	37·1	252 33·7*	40·4	105 53·9	17·2	Sabik	102 46·9	S 15 41·6
A	11	215 26·9	298 43·9	43·1	190 22·5	37·1	267 35·8	40·3	120 56·5	17·2			
Y	12	230 29·3	313 43·5	S 26 43·0	205 25·5	N 9 37·1	282 37·9	S 19 40·3	135 59·1	N 22 17·2	Schedar	350 14·1	N 56 24·0
	13	245 31·8	328 43·1	42·9	220 28·5	37·0	297 40·1	40·2	151 01·6	17·2	Shaula	97 02·6	S 37 05·2
	14	260 34·3	343 42·7	42·8	235 31·4	37·0	312 42·2	40·1	166 04·2	17·2	Sirius	258 59·7	S 16 40·6
	15	275 36·7	358 42·4	.. 42·7	250 34·4	.. 37·0	327 44·3	.. 40·0	181 06·8	.. 17·2	Spica	159 02·9	S 11 01·5
	16	290 39·2	13 42·0	42·5	265 37·4	36·9	342 46·5	39·9	196 09·4	17·2	Suhail	223 14·3	S 43 19·4
	17	305 41·7	28 41·6	42·4	280 40·3	36·9	357 48·6	39·9	211 12·0	17·2			
	18	320 44·1	43 41·2	S 26 42·3	295 43·3	N 9 36·9	12 50·7	S 19 39·8	226 14·6	N 22 17·2	Vega	80 59·3	N 38 45·7
	19	335 46·6	58 40·9	42·2	310 46·3	36·8	27 52·8	39·7	241 17·2	17·2	Zuben'ubi	137 38·7	S 15 56·0
	20	350 49·1	73 40·5	42·1	325 49·2	36·8	42 55·0	39·6	256 19·7	17·2		S. H.A.	Mer. Pass
	21	5 51·5	88 40·1	.. 42·0	340 52·2	.. 36·8	57 57·1	.. 39·5	271 22·3	.. 17·2		° ′	h m
	22	20 54·0	103 39·7	41·9	355 55·2	36·7	72 59·2	39·4	286 24·9	17·2	Venus	84 57·0	15 05
	23	35 56·4	118 39·4	41·7	10 58·1	36·7	88 01·3	39·4	301 27·5	17·2	Mars	334 36·9	22 21
		h m									Jupiter	52 20·5	17 12
	Mer. Pass	20 40·6	v −0·4	d 0·1	v 3·0	d 0·0	v 2·1	d 0·1	v 2·6	d 0·0	Saturn	265 25·4	3 02

BIBLIOGRAFIE

Anderson, E.W., *The Principles of Navigation*, Londra, 1971

Balaban, I. Gh., *Conducerea navei*, ed. a II-a, Editura Tehnică, București, 1963

Balaban, I. Gh., *Manualul ofițerului de cart*, Editura Militară, București, 1953

Beck, G.E., *Navigation Systems. A Survey of Modern Navigation Aids*, Londra, 1971

Belea, C., *Programarea la mașinile electronice de calcul*, București, 1969

Belobrov, A.P., *Morehodnaia Astronomia*, Leningrad, 1953

Bourbon, R., *Cours de compensation de compas*, Paris, 1957

Bucur, V., Bercea, A., Argeșeanu, S., Zaharia, I., *Navigația*, vol. I, II, Editura Căilor Ferate, București, 1953

Calvé, A., *Le cours de navigation*, vol. I, II, III, Paris, 1963

Carpantiér, J., Radix, J.C., Bouvet, J., Bonnevalle, G., *Navigation par inertier*, Paris, 1962

Chiriță, M., Pavica, V., *Navigație*, Editura Militară, București, 1959

Cockroft, A.N., Lameijer, I.N.F., *A Guide to the Collision Avoidance Rules*, Londra, 1976

Coffinet, G., *Système de radionavigation Oméga*, Paris, 1969

Conrad, F., Steppes, O., *Lehrbuch der Navigation*, vol. I,II

Dove, M.J., *The Cost Effectiveness of Automatic Navigation Systems*, Londra, 1977

Drâmbă, C., *Elemente de mecanică cerească*, Editura Tehnică, București, 1958

Dunlop, G.D., Shufeldt, H.H., *Dutton's Navigation and piloting*, ediția a XII-a, Annapolis-Maryland, 1969

Dunning, R.M., *Restricted Visibility – The Shipmaster's Dilemma*, Londra, 1977

Fiebig, W., *Informationsdarstellungen auf der Bräcke währed des wachfreien Seebetriebes*, Leipzig, 1978

Grammel, F., *Der Kreisel und seine Anwendungen* Berlin, 1950

Harris, H., *Bringing Safety and Sense to the Sea Lanes*, Londra, 1977

Hennig, E., *Feststellen der Möglichkeit der Gefahr einer Kollision bei verminderte, Sicht unter Verwertung von Radarinformationen*, Leipzig, 1978

Hugon, P., *Le radar de navigation*, Paris, 1961

Ideale Capasso, Fede, S., *Navigazione*, vol. I, II, Milano, 1971

Lubjuhn, H., *Plotten und seine Anwendung aus der Sicht des Praktikers*, Leipzig, 1978

Millward, G.E., *Ice Forecasting and Ship Operations*, Londra, 1975

Müller-Krauss, *Schiffsführung*, vol. I, II, New York, 1970

Niță, M.L., Aron, I., *Navigația inerțială*, Editura Militară, București, 1971

Popa, I., *Fizica generală. Mecanica acustică*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1970

Prosinagg, C., *Navigația*, Constanța, 1933

Ropars, J., *Les pétroliers geants*, Paris, 1969

Schrick, K. W., *Satellitennavigation für die Schiffart*, Hamburg, 1971

Sizaire, P., *Astronomie Nautique*, Paris, 1967

Sonenberg, G.J., *Radar and Electronic Navigation*, ed. IV-a, Londra, 1970

Stoenescu, A., Țițeica, G., *Teoria giroscopului și aplicațiile sale tehnice*, Editura Tehnică, București, 1961

Stoian, I., *Navigație*, Constanța, 1936

Uhov, K.C., *Navigația*, Leningrad, 1954

Vîlcovici, V., Bălan,. Șt., Voinea, R., *Mecanica teoretică*, Editura Tehnică, București, 1968

*** *Admiralty Manual of Navigation*, vol. I, II, Londra, 1970

*** *Admiralty Manual of Mihdrographic Surveying*, vol. I, II, Londra, 1970

****Anti-collision System SDL-1000*, JRC, Tokio, 1976

****Brown's Nautical Almanac*, 1973, 1974, 1975, 1978

****Ice Navigation in Canadian Waters*

****Instruction Manual for Digital Calculator for Navigation and Ship Condition SEAMATE-4, IHI*, Tokio, 1973

****Instruction Manual for Loran Receiver*, JRC, Tokio, 1971

****Instruction Manual for Omega, Receiver*, JRC, Tokio, 1973

****International Conference on Safety of Life at Sea*, IMCO, Londra, 1960

****Manuale dell-ufficiale di rotta*, Genova

****Marine Navigational Radars „OCEAN-M". Technical Description*, 1969

****Nicholls's Concise Guide*, vol. I, II, Glassgow, 1972

****Ocean Passages for the World*

****Registrul Naval Român, Reguli pentru clasificarea și construcția navelor maritime, 1978*

****Satellite Navigation System*, IRC, Tokio, 1973

****The Art and Science of Navigation. Safety at Sea*, 1977

****The Development of Ship Routeing. Safety at Sea*, 1977

Publicații lunare 1972–1978

Fairplay. International Shipping Journal

Hansa. Zentralorgan für Schiffahrt, Schifbau, Hafen

Journal of the Institute of Navigation

Journal de la Marine Marchande

Morskoi Flot

Navires, Ports et Chantiers

Schiff und Hafen

Shipping World and Shipbuilder

The Motor Ship

Publicații lunare 1977–1978

Safety at Sea. International

Seewirtschaft. Schiffbau, Schiffahrt, Hochseefischerei, Meerestechnick

Culegere și paginare computerizată
Secția Fotoculegere – Imprimeria Coresi



Coli de tipar: 57
Bun de tipar: 18.XI.1996
Tiparul executat sub comanda nr. 60 313

Regia Autonomă a Imprimeriilor
Imprimeria „CORESI", București
ROMÂNIA





Comandantul de cursă lungă Gheorghe I. Balaban, în cei 47 ani de muncă în marină, a desfășurat o susținută și meritorie activitate: comandant pe diferite nave maritime de transport, director al flotei maritime „NAVROM" Constanța, profesor de navigație la Școala Superioară de Marină și Institutul de Marină din Constanța, inspector șef la Registrul Naval Român, Constanța.

Este autorul unor studii și articole pe teme de navigație, publicate în reviste de specialitate, precum și al unor lucrări fundamentale din domeniul marinei.

Experiența dobândită în rodnica sa activitate, consultarea unei bogate literaturi de specialitate, la care se adaugă dragostea de mare și de marină au condus la realizarea prezentului tratat, aflat la cea de a treia ediție a sa.

ISBN 973 - 97711 - 4 - 9